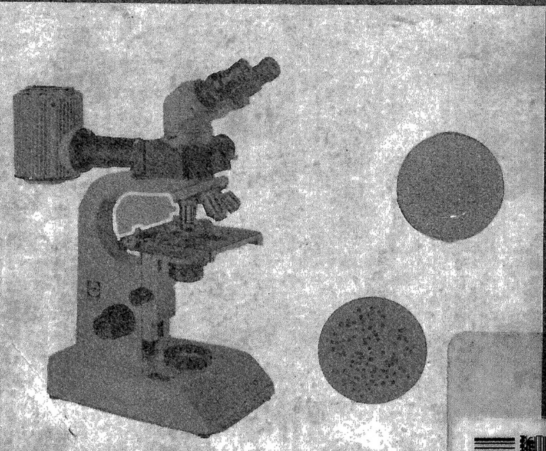
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الموصل

علم
أحياء التربة المجهرية



تأليف

غياث محمد قاسم
الدكتور مضر عبد الستار علي

علم أحياء التربة المجهرية

١

نشر وطبع وتوزيع :
مديرية دار الكتب للطباعة والنشر
شارع ابن الاثير - الموصل
الجمهورية العراقية
هاتف ٧٦٣٢٣١
٧٦٣٢٣٥
تلكس ٨٠٩٢

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الموصل

علم أحياء التربة المجهرية

تأليف

الدكتور غياث محمد قاسم
كلية الزراعة والغابات
جامعة الموصل

الدكتور مضر عبد الساعاتي
كلية العلوم
جامعة الموصل

١٩٨٩ م – ١٤٠٩ هـ

ـ المحتويات ـ

ـ بسم الله الرحمن الرحيم ـ

لقد حدث تطور ملحوظ بالنسبة للتعليم العالي والبحث العلمي في عهد الثورة الزاهر وحظي هذا القطاع بالذات بمزيد من الاهتمام وبالدعم المتواصل واللا محدود خاصة لحركة العلم وترجمة الكتب العلمية والادبية وتأليفها سواء كانت المنهجية منها والمساعدة لما لذلك من أهمية كبرى في دعم المسيرة العلمية الصاعدة في قطرنا الناهض .

إن الغاية الاساسية من دراسة علم أحياء التربة المجهرية هو دراسة طبيعة الكائنات الحية ونشاطها وتأثير ذلك في تحولات العناصر في التربة ودراسة الوسائل التي يمكن بوساطتها التحكم في نشاط هذه الاحياء وتحويرها بالطرق الصحيحة وبما ينعكس ذلك على زيادة خصوبة التربة والافادة منها في اغراض شتى . كما ان علم أحياء التربة المجهرية ليس علماً منفرداً إذ يمكن تتبع اصوله في علوم البكتريا والفطريات وعلم التربة والكيمياء الحيوية وامراض النبات . وعلى هذا الاساس فأن فهم هذا العلم يتأتى من تفهم العديد من العلوم التي اسهمت في ايجاده كعلم قائم بذاته .

تشمل فصول هذا الكتاب اتجاهات عديدة ، منها دراسة المجموعات الميكروبية الرئيسة في التربة ولا سيما وصف تلك المجاميع وتقسيمها وتبيان اهميتها . كما شمل ايضاً عرضاً بالتحولات الرئيسة للعناصر التي تقوم بها الاحياء المجهرية كتحولات الكاربون والنيتروجين والفوسفور والكبريت والحديد . كذلك تشمل فصول الكتاب العلاقات البيئية المختلفة ودور أحياء التربة في تحلل المادة العضوية وانحلال مبيدات الآفات المختلفة .

ولا يسعنا هنا الا ان نقدم شكرنا الجزيل الى كل من الدكتور صبحي حسين خلف الاستاذ المساعد في كلية العلوم / قسم علوم الحياة على تقويمه العلمي للكتاب والاستاذ عبد الجبار علوان حسين النايلة الاستاذ المساعد في كلية الاداب / قسم اللغة العربية على تقويمه الكتاب لغوياً . كما نشكر الاخوة والاخوات العاملين في مؤسسة

دار الكتب للطباعة والنشر / جامعة الموصل للجهود التي بذلوها في اخراج هذا الكتاب ومن الله التوفيق .

المؤلفان

الفصل الأول

« أحياء التربة المجهرية »

نبذة تأريخية عن تطور علم احياء التربة المجهرية :

تعرف التربة من الناحية الحيوية بانها بيئة أو نظام مليء بمجاميع مختلفة من الاحياء المجهرية المسؤولة عن العديد من الفعاليات التي تحدث في التربة وهي تؤثر بصورة مباشرة أو غير مباشرة في حياة الانسان واقتصاده . قسم من هذه التفاعلات تكون ذات تأثير ايجابي مثل تحلل المخلفات العضوية الحيوانية والنباتية ومخلفات الانسان التي تصل التربة مع تحرير العناصر الغذائية المختلفة الكامنة فيها بشكل جاهز للنبات . والاخرى ذات تأثير سلبي في حياة النبات وهذه تشمل الفعاليات التي تحول العناصر الغذائية الجاهزة للنبات الى صور غير جاهزة . إضافة الى الامراض المختلفة التي تسببها .

تطور علم الاحياء المجهرية بصورة عامة في السنوات الاخيرة وعلم أحياء التربة المجهرية بصورة خاصة لدرجة الفهم الواضح لدور الاحياء المجهرية في عمليات تكوين التربة وتحولات العناصر الغذائية وتأثير ذلك في نمو النبات ، وفيما يأتي نعرض نبذة تأريخية عن الكيفية التي تطور بها علم أحياء التربة المجهرية ،

١ ـ اكتشاف دور الاحياء المجهرية في انحلال المادة العضوية :

إن علم احياء التربة المجهرية بقي مهملاً مدة من الزمن ، ففي نهاية القرن السابع عشر كانت هناك حرب علمية بين المختصين في علم الكيمياء والفسلجة والاحياء المجهرية فقد كان قسم منهم يعتقدون بأن تحول العناصر الغذائية داخل التربة عملية كيمياوية بحتة ليس للاحياء المجهرية اي دور فيها . والقسم الآخر كان يعتقد العكس .

إن اول اشارة مبكرة لعلم احياء التربة المجهرية كانت من العالم الفرنسي لويس باستير **Louis Pasteur** (١٨٢٢ ـ ١٨٩٥) حيث بين ان الاحياء الدقيقة تسبب التخمر والتعفن والانحلال . وقد اكد على الطبيعة الحيوية لعمليات تحول المادة العضوية في التربة وان الاحياء المجهرية هي التي تعمل على معدنة المخلفات العضوية ذات المصدر الحيواني والنباتي وكذلك هي التي تحول العناصر الغذائية الى اشكال جاهزة للنبات او بالعكس . كما اكد ان هذه العمليات تعتمد لا على طبيعة الاحياء ونوعها فحسب بل تعتمد على الظروف المحيطة بها . فبوجود الاوكسجين (ظروف هوائية) سوف تتحلل الكاربوهيدرات الى ثاني اوكسيد الكاربون . وعند عدم وجود الاوكسجين (ظروف لا هوائية) سوف لا تكتمل عملية التحلل اذ يصاحب غاز CO_2 تكون غازات اخرى كالهيدروجين والميثان مع كحولات واحماض عضوية بعملية تسمى (التخمر) **fermentation** .

٢ ـ علم احياء التربة المجهرية علم قائم بذاته :

بالنظر لكون العمليات السابقة تتم بوساطة مجاميع مختلفة من البكتريات والفطريات والاحياء الاخرى الموجودة في التربة فقد ظهر بالتدريج فرع جديد من فروع علوم الاحياء المجهرية ، الا وهو علم احياء التربة المجهرية **Soil Microbiology** الذي يدرس المجاميع المجهرية الموجودة في التربة ودورها في التحولات المختلفة واهمية ذلك في تغذية النبات وانتاج المحاصيل . اضافة الى ذلك فهو يدرس اعدادها وتصنيفاتها والطرق المستعملة في قياس نشاطاتها في التربة .

٣ ـ اكتشاف عملية النترجة **Nitrification** :

يقصد بالنترجة عملية تأكسد الامونيوم الى نترات . لقد شارك في اكتشافها العديد من العلماء . فمنذ عام ١٨٧٧ لاحظ العالمان **Schloesing** و **Muntz** انه عند مرور مياه المجاري ببطء خلال عمود زجاجي مليء بالرمل وكاربونات الكالسيوم فإن الامونيا الموجودة في هذه المياه تتأكسد بمرور الزمن الى نترات . وعند إضافة كمية قليلة من بخار الكلوروفورم (مادة سامة) تتوقف العملية تماماً . وعند التخلص من الكلوروفورم واضافة كمية قليلة من معلق التربة (كلقاح بكتيري) تبدأ عملية التحول ثانية . لذلك اثبتوا أن هذه العملية حيوية ولا يمكن

ان تتم إلا بوساطة الاحياء المجهرية . كذلك لاحظ العالم **Warrington** ان الامونيا الناتجة من تحلل المادة العضوية تتأكسد بالتربة حيوياً الى نترات بمرحلتين ، الاولى تأكسدها الى نتريت NO_2^- والثانية تأكسد النتريت الى نترات NO_3^-. ووجد هذا العالم ان العملية تتم في وسط غذائي معقم مضاف اليه الامونيوم وملقح بكمية قليلة من التربة وان ميزة هذا الوسط خلوّه من اية مادة عضوية مما يدل على ان البكتريا التي تقوم بهذه العملية تستعمل غاز CO_2 مصدراً للكاربون وتؤكسد الامونيوم لكي تحصل على الطاقة اللازمة لتحويل CO_2 الى مواد الخلية اي من نوع ذاتية التغذية كيميائياً **(Chemoautotrophs)** ، ولكنه لم يتمكن من عزل البكتريا المسؤولة عن عملية الاكسدة هذه . وافاد العالم الروسي المشهور **Winogradsky** (١٨٥٦ ــ ١٩٥٣) مما توصل اليه كل من العلماء المذكورين آنفاً إذ تمكن في عام (١٨٩١) من عزل كل من الاجناس البكتيرية المسوولة عن عملية الاكسدة وسمى الجنس المسؤول عن الخطوة الاولى من الاكسدة ***Nitrosomonas*** والجنس المسؤولة عن الخطوة الثانية ***Nitrobacter*** .

٤ ــ اكتشاف البكتريا المثبتة للنتروجين : N_2- Fixation

لقد عرفت منذ قديم الزمان اهمية البقليات في اغناء خصوبة التربة . وقد اكد العالم **Boussingault** في عام ١٨٣٨ ان اهمية البقليات هذه تعود الى تثبيتها للنتروجين الجوي . وفي عام ١٨٥٨ اكتشف العالم **lachmann** العقد الجذرية على جذور هذه النباتات وفي عام ١٨٧٩ وجد العالم **Frank** ان هذه العقد الجذرية تتكون نتيجة التلقيح بالاحياء المجهرية (البكتريا) . وفي عام ١٨٨٥ اثبت العالمان **Hellriegel** و **Wilfarth** ان البقليات تأخذ النتروجين من الجو بوساطة البكتريا الموجودة في داخل العقد الجذرية وتحوله الى مركبات نتروجينية وقد اكد ذلك العالم **Schloesing** إذ وجد ان وزن النتروجين الذي تمتصه النباتات البقلية من الهواء كان مساوياً تقريباً للزيادة الحاصلة بالنتروجين الممتص من قبل النبات والنتروجين الباقي في التربة . وأخيراً استعمل العالم الهولندي المشهور **Beijerinck** (١٨٥١ ــ ١٩٣١) الاوساط الغذائية الغنية المنتخبة للحصول على مزرعة نقية من البكتريا المسؤولة عن عملية تكون العقد عملية تكون العقد الجذرية وسماها ***Bacillus radicicola*** وهي التي تعرف في الوقت الحاضر بإسم ***Rhizobium spp.*** وسمى عملية التثبيت هذه التثبيت التعايشي للنتروجين

Symbiotic N_2– Fixation لانها عملية تعايشية بين البكتريا والنباتات البقولية كل يستفيد من الآخر .

هناك نوع آخر من التثبيت لغاز النتروجين يسمى بالتثبيت اللاتعايشي **Non-symbiotic N_2 Fixation** وكان للعالم **Winogradsky** والعالم **Beijerinck** الفضل في اكتشافه إذ استعمل العالم الاول وسطاً غذائياً معقماً خالياً من اي مصدر من مصادر النتروجين . وبعد تلقيحه بكمية قليلة من التربة وتحضينه في ظروف ملائمة لمدة من الزمن لاحظ نمو خلايا بكتيرية في اسفل الدورق الحاوي على الوسط الغذائي وخلايا اخرى نامية على السطح . وبما ان النمو البكتيري بحاجة الى مصدر كاربون وطاقة ـ وهذه موجودة في الوسط الغذائي والى نتروجين لبناء الخلية الى جانب الكاربون وهذا غير موجود في الوسط الغذائي فقد استنتج ان هذه النموات البكتيرية قد افادت من النتروجين الجوي في بناء خلاياها . وبما ان مصدرها هو التربة فلابد ان يكون هناك ايضاً تثبيت حر للنتروجين في التربة سماها بالتثبيت اللاتعايشي لانه ليس به حاجة الى نبات لاتمام العملية . بما ان هناك نمواً في اسفل الدورق وآخر على السطح فلابد ان يكون هناك تثبيت لاهوائي وتثبيت هوائي . عزل العالم **Winogradsky** البكتريا النامية في اسفل الدورق فوجد انها بعض الانواع التابعة للجنس ***Clostridium*** .

اما العالم **Beijerinck** فقد عزل البكتريا النامية على السطح وسماها ***Azotobacter*** . في عام ١٩٠١ تم تصنيف النوع ***A. chroococcum*** من قبل العالم نفسه . في عام ١٩٠٤ عزل النوع ***A. beijerincki*** . وفي عام ١٩٠٣ عزل العالم **Lipman** (١٨٧٤ ـ ١٩٣٩) النوع ***A. vinelandii*** .

مما سبق يمكن القول ان الفضل في تطور علم احياء التربة المجهرية يعود الى العالمين **S.N. Winogradsky** و **M.W. Beijerinck** اللذين يوضعان في نفس الصف مع العالمين **Robert Koch** و **Louis Pasteur** اذ اهتم الاخيران في دراسة الاحياء المجهرية المرضية بصورة رئيسة (مع ان العالم باستير قد اهتم الى جانب ذلك بأحياء التربة المجهرية) . اما العالمان الاوليان فقد اتجها نحو اكتشافات دور الاحياء المجهرية في العمليات الطبيعية اذ طورا البيئة الغذائية المنتخبة لتشمل احياء التربة وبوساطتها انجزا عملاً ناجحاً في عزل ووصف احياء مجهرية جديدة مسوولة عن تحولات النتروجين المختلفة وتحولات الكبريت في التربة . ومن هنا يمكن ان نعدهما الابوين لعلم احياء مجهرية التربة **Fathers of Soil Microbiology** .

٥ ـ اكتشاف المضادات الحيوية : Antibiotics

إن بداية اكتشاف المضادات الحيوية كان من العالم فلمنك **Fleming** سنة ١٩٢٩ إذ اكتشف المضاد الحيوي البنسلين الذي ينتجه الفطر ***Penicillium notatum***. ويعود اكتشاف الكثير من المضادات الحيوية المعروفة في الوقت الحاضر للعالم الاميركي **Waksman** (١٨٨٨ ـ ١٩٧٣) اذ عزل الكثير من أجناس الاكتينومايسيتات المنتجة للمضادات الحيوية من التربة وله عدة مجلدات عنها ولعل اشهرها المضاد الحيوي **Streptomycin** . ثم تبعه علماء كثيرون درسوا في المجال نفسه ومن المعروف أن غالبية المضادات الحيوية المعروفة في الوقت الحاضر تنتج من قبل احياء التربة المجهرية .

٦ ـ اكتشافات أخرى :

اضافة الى ما تقدم ساهم الكثير من العلماء الاوربيين والعلماء الاميركان في تطوير علم احياء التربة المجهرية كالعالم الكندي **Loch head** الذي درس طرق تغذية بكتريا التربة واهتم بدراسة الاحياء المجهرية في منطقة الرايزوسفير **Rhizosphere** (المنطقة المحيطة بالجذور). وتبعه في المجال نفسه العالم **Starkey** إذ اهتم بدراسة الاحياء المجهرية الخاصة بهذه المنطقة . اما العالم الامريكي **Thom** (١٨٧٢ ـ ١٩٥١) فقد برز في مجال فسلجة فطريات التربة وتصنيفها اما العالم **Nelson** فقد عزل ـ للمرة الاولى ـ بكتريا غير ذاتية التغذية (عضوية التغذية) تقوم بعملية النترجة وذلك في عام ١٩٣٠ . وفي عام ١٩٥٠ عزل العالم **Derx** جنسياً بكتيرياً آخر مثبتاً للنتروجين سماه ***Beijerinckia*** نسبة الى العالم **Beijerinck** . وفي عام ١٩٦٢ قام العالمان الالمانيان **Peterson** و **Jensen** بعزل الجنس ***Derixia*** . وفي عام ١٩٦٦ وصف العالم **Dobereiner** النوع البكتيري المثبت للنتروجين بصورة حرة ***Azotobacter paspali*** وفي سنة ١٩٧٦ عزل العالم نفسه بالاشتراك مع عالم آخر اسمه **Day** بكتريا حلزونية لها القدرة على تثبيت النتروجين وهي ***Spirillium lipoferum*** . هذا وإن علم احياء التربة المجهرية آخذ بالتطور من خلال الدراسات المستمرة للعلماء المختصين في جميع انحاء العالم .

الفصل الثاني

« أقسام احياء مجهرية التربة »

١ ـ تقسيم **Winogradsky** لاحياء التربة المجهرية :

قسمت أحياء التربة المجهرية حسب طبيعة وجودها في التربة على مجموعتين من العالم الروسي وينوكرادسكي : ـ

أ ـ أحياء التربة المجهرية المستوطنة **Autochthonous microorganisms**

وهي الاحياء المجهرية التي يكون موطنها الاصلي والدائمي هي التربة وتوجد في كل انواع الترب ولها دور اساسي في التغيرات الكيمياوية الحياتية التي تحدث في داخل التربة . وقد توجد هذه الاحياء في اطوار سكون كالسبورات التي تصبح فعالة عند توفر الظروف الملائمة لنشاطها من جديد أو قد تكوّن موجودة على هيئة خلايا خضرية فعالة في التربة .

ب ـ الاحياء المجهرية الدخيلة **Allochthonous microorganisms**

إن هذا النوع من الاحياء المجهرية يجد طريقه الى التربة اما عن طريق معاملة التربة بالمخصبات العضوية سواء عن طريق اضافة بقايا النباتات الخضراء أو مواد معدنية ، وفي حالات اخرى عن طريق تلوث التربة بمياه المجاري وما تطرحه الحيوانات من فضلات مختلفة . إن هذه الاحياء يمكن ان تبقى في التربة مدة من الزمن وتكون غير فعالة لان وجودها غالباً يكون اما في طور السكون أو تنمو مدة قصيرة من الزمن ، كما انها لا تقوم بدور فعال واساس في التحولات الكيمياوية الحياتية في التربة للاسباب المذكورة في أعلاه .

٢ ـ تقسيم أحياء التربة المجهرية بالنسبة الى درجة الحرارة :

إن درجة الحرارة تتحكم في جميع العمليات الحيوية وهي بذلك تعد عاملاً اساساً يؤثر في احياء التربة وقد أمكن اثبات علاقة الحرارة وكثافة المحتوى الحيوي للتربة من عديد من العلماء المختصين ، وهذه العلاقة لا تتضمن التأثير على الاعداد فحسب ، بل يمتد تأثيرها الى احداث تغييرات وصفية في ميكروبات التربة .

لكل نوع من الكائنات الدقيقة درجة حرارة مثلى للنمو **Optimum temperature** ، كما ان لكل نوع مدى أو نطاقاً حرارياً معيناً بحيث يتوقف النشاط الحيوي للميكروب خارج هذا النطاق . وعلى ضوء ما تقدم يمكن وضع ميكروبات التربة في ثلاثة اقسام رئيسة تبعاً لدرجة الحرارة المثلى لها وللمدى الحراري الذي يمكنها النمو فيه : ـ

أ ـ الانواع المحبة للحرارة المعتدلة **Mesophiles**

ان معظم احياء التربة المجهرية تعد من الانواع التي تعيش في حرارة متوسطة ، وتكون الدرجة المثلى لها بين (٢٥ ـ ٣٥° م) ويمكنها النمو ايضاً في درجات الحرارة الواقعة بين (١٥° م) و (٤٥° م) .

ب ـ الانواع المحبة للبرودة : **Psychro philes**

وهي الميكروبات التي تنمو بصورة افضل في درجات الحرارة التي تقل عن (٢٠° م) ، وهذا النوع من الاحياء غير شائع وجوده في التربة . ففي فصل الشتاء مثلاً يكون نشاط الاحياء في التربة راجعاً بصفة اساسية للانواع التي تتحمل البرودة وليس للانواع المحبة للبرودة فعلاً .

وهناك العديد من أحياء التربة لها القدرة على النمو في درجات الحرارة المنخفضة التي تقع ما بين درجة الانجماد و (٥° م) ويزيد نشاطها وتكاثرها عند ارتفاع درجة الحرارة فوق هذه المعدلات .

جـ ـ الانواع المحبة للحرارة العالية : **Thermophiles**

هذه الانواع واسعة الانتشار وتنمو في درجات الحرارة ما بين (٤٥° م) و ٦٥° م) وبعض انواعها محب للحرارة العالية احياناً الى (٨٠° م) اذ لا يمكنها النمو في درجات حرارة اقل من (٤٠° م) . إضافة الى ذلك فان تأثير الحرارة يتحكم في معدل النشاط الحيوي للاحياء فتزداد معدلات النشاط بزيادة الحرارة حتى تصل الى اقصاها عند درجة الحرارة المثلى التي تلائم هذا النشاط الحيوي . وبغض النظر عن التباين في درجات الحرارة في المناطق المختلفة فان هناك اتجاهاً ثابتاً لزيادة النشاط الحيوي للميكروبات في الجو الدافيء .

أما بالنسبة الى ميكروبات التربة فان اكثرها من النوع الذي تحب الحرارة المعتدلة **Mesophiles** وتأتي الميكروبات التي تحب الحرارة الواطئة بالدرجة الثانية ، أما الميكروبات المحبة لدرجات الحرارة العالية فتكون اعدادها واطئة جداً . ففي الصيف مثلا تكون الطبقة السطحية للتربة (١٠ ــ ١٥ سم) ذات حرارة اعلى من الطبقات التي تليها في حين يكون سطح التربة في الشتاء ذا درجة حرارة اوطأ من طبقات التي تليه .

إن التغيرات البيئية الموسمية تعد ثانوية ومن الصعوبة تحديد تأثيراتها لتداخلها بتغيرات في درجات الحرارة والغطاء النباتي الذي يختلف حسب الفصول وبقايا ذلك الغطاء في التربة .

إن المواد العضوية التي تتجمع في فصل الشتاء تبدأ بالتحلل في الفصول الدافئة كفصل الربيع مثلاً حيث تكون اعداد الاحياء المجهرية في اقصى كثرتها،على العكس من فصلي الصيف والشتاء حيث الحرارة العالية في الصيف والبرودة القارسة في الشتاء تقلل اعداد الاحياء المجهرية بوجه عام . كما ان بعض الظروف غير الاعتيادية للمواسم قد تؤثر في طبيعة التغيرات الموسمية للاحياء المجهرية ، ومثال ذلك عندما يكون الصيف حاراً مصحوباً ببعض الامطار والشتاء بارداً وجافاً قليل الامطار فان تلك التقلبات الموسمية تكون مشابهة لتأثير التقلبات بالحرارة والرطوبة وتأثيراتها في مستوى اعداد الاحياء المجهرية بالتربة . كذلك فان التقلبات الموسمية لا تؤثر في اعداد الاحياء المجهرية فحسب وانما تؤثر أيضاً في اختلاف انتشار مجاميع البكتريا وبقية الاحياء المجهرية . ومن خلال بعض الدراسات وجد أن هناك تبايناً موسمياً في نسبة الاكتينومايسيتات المنتشرة في التربة حيث ان نسبة مستعمراتها

النامية في الاطباق تصل الى ٦٠ ٪ من مجموع الاحياء المجهرية الكلي في فصل الصيف ، في حين تصل نسبتها في الربيع الى ٣٠ ٪ أما في الشتاء فنسبتها لا تزيد على ١٣ ٪ .

٣ ـ تصنيف مايكروبات التربة بالنسبة الى حاجتها للاوكسجين :

إن وجود الاوكسجين أو عدم وجوده يقسم ميكروبات التربة على ثلاثة مجاميع رئيسة والاساس في هذا التقسيم يرجع بالدرجة الرئيسة الى طبيعة نظم انتاج الطاقة . والمجاميع الرئيسة الثلاثة هي : ـ

أ ـ الميكروبات الهوائية الاجبارية : **Strict aerobes**

وهي الكائنات الدقيقة التي تحتاج الى الاوكسجين كمستقبل نهائي للالكترونات لغرض الاكسدة . وعندما تكون هذه هي الوسيلة الوحيدة لانتاج الطاقة فان هذا الكائن يكون من نوع الهوائي الاجباري . إن اغلب ميكروبات التربة هوائية ولكن الخواص الفيزياوية للتربة تؤثر في اعداد الميكروبات وخاصة في الاراضي الضحلة حيث ان هناك نسبة قليلة من الاوكسجين تزداد فيها الميكروبات الاجبارية الهوائية في الطبقة العليا من التربة والميكروبات الاجبارية اللاهوائية في الطبقات السفلى من التربة . وهناك عوامل عديدة تؤثر في تهوية التربة منها نسجة التربة **Soil Texture** ونوعية المعادن وارتفاع منسوب الماء الارضي والمادة العضوية إذ تتركز المادة العضوية عادة في الطبقة العليا من التربة وتعد مصدر طاقة للاحياء الدقيقة كما تعد مصلحات لخواص التربة الفيزياوية . لذا تقل اعداد الاحياء كلما تعمقنا في التربة نتيجة التغيير في الخواص الفيزياوية للتربة . ومن الامثلة على اجناس بكتيرية هوائية اجبارية الاجناس : ***Thiobacillus* , *Nitrobacter* ,**

Nitrosomonas إضافة الى ذلك فان جميع الاعفان ومعظم الطحالب تعد هوائية اجبارية وتموت أو تكون ساكنة بغياب الاوكسجين .

ب ـ الميكروبات اللاهوائية الاختيارية : **Facultative anaerobes**

وهي الكائنات الدقيقة التي تحصل على الطاقة بغياب الاوكسجين ويمكنها النمو ايضاً في وجود الاوكسجين أي انها تستطيع النمو في وجود الاوكسجين او عدم وجوده ، ويكون نموها عادة أكثر في الظروف الهوائية ومن الامثلة عليها بعض الانواع التابعة للاجناس : ***Pseudomonas , Bacillus***

جـ ـ الميكروبات اللاهوائية الاجبارية : **Strict anaerobes**

وهي الكائنات الدقيقة التي لها نظام انتاج الطاقة الذي لا يحتاج الى الاوكسجين اضافة الى ذلك فأن الاوكسجين يكون مسمماً لها . على الرغم من ان الاوكسجين يعد مستقبلاً شائعاً وكفاً للالكترونات فان بعض الكائنات ذات النواة البدائية لها القدرة على الافادة من بعض مستقبلات الالكترون اللاعضوية بعملية تعرف بالتنفس اللاهوائي ويمكن ان تكون التنرات مستقبلات الالكترون اللاعضوية اذا تختزل الى امونيا وثاني اوكسيد النتروز والنيتروجين الجزيئي بوساطة البكتريا اللاهوائية الاجبارية ***Pseudomonas denitrificans*** أو يمكن ان تكون كبريتات اذ تختزل الى كبريتيدات بوساطة البكتريا اللاهوائية الاجبارية : ***Desulfovibrio desulfuricans*** أو يمكن ان يكون مستقبل الالكترونات هو غاز ثاني اوكسيد الكاربون إذ يختزل الى غاز الميثان .

٤ ـ تصنيف أحياء التربة المجهرية بالنسبة لمصور الطاقة والكاربون :

تصنف احياء التربة المجهرية بالنسبة لمصور الكاربون الى :

أ ـ أحياء ذاتية التغذية (**Autotrophs** . أو : **Lithotrophs**)

وهي الاحياء المجهرية التي تستعمل غاز ثاني اوكسيد الكاربون(CO_2) مصدراً للكاربون .

ب ـ أحياء متغايرة التغذية (Heterotrophs)

وهي الاحياء المجهرية التي تستعمل المركبات العضوية مصدراً للكاربون .
وتصنف أحياء التربة المجهرية بالنسبة لمصدر الطاقة الى :

أ ـ أحياء ضوئية (Phototrophs) :

كما هو واضح من اسمها فهي الاحياء التي يكون فيها الضوء مصدراً للطاقة .

ب ـ أحياء كيميائية (Chemotrophs) :

وهي الاحياء التي تؤكسد المركبات العضوية أو المعدنية لتحصل على الطاقة اللازمة للعمليات الحيوية المختلفة .

لذلك قسمت احياء التربة المجهرية بالنسبة للتداخل بين مصدر الكاربون والطاقة على اربعة اقسام كالآتي : ـ

أ ـ أحياء ذاتية التغذية الضوئية (Photoautotrophs) :

وهي الاحياء المجهرية الشبيهة بالنباتات إذ تستعمل ثاني اوكسيد الكاربون كمصدر للكاربون ، والضوء مصدراً للطاقة ، وهذه تضم جميع الطحالب وقسماً من البكتريا من ضمنها الجنس ***Rhodospirillum*** وكذلك البكتريا الارجوانية ، **Purple bacteria** والبكتريا الخضراء ، **green bacteria**

ب ـ أحياء ذاتية التغذية الكيميائية : (Chemoautotrophs)

وهي الاحياء المجهرية التي تستعمل CO_2 مصدراً للكاربون واكسدة المركبات المعدنية مصدراً للطاقة اللازمة لتحويل CO_2 الى كلوكوز ثم تحويله الى مركبات الخلية العضوية الاخرى . ويشمل هذا القسم عدداً من أجناس البكتريا الاقتصادية وهذه بدورها تقسم على مجاميع اخرى على اساس مركبات العناصر التي تقوم باكسدتها للحصول على الطاقة كما يأتي : ـ

١ ـ البكتريا التي تؤكسد ايونات الامونيوم الى ايونات النتريت للحصول على الطاقة مثل الجنس : *Nitrosomonas* كما في المعادلة الآتية :

$$NH_4^+ + 1\frac{1}{2}O_2 \longrightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O + 66 cal.$$

٢ ـ البكتريا التي تؤكسد ايونات النتريت الى ايونات النترات للحصول على الطاقة مثل الجنس : *Nitrobacter* كما في المعادلة الآتية :

$$NO_2^- + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow NO_3^- + 17.5 cal.$$

٣ ـ البكتريا التي تؤكسد مركبات الكبريت الى ايونات الكبريتات للحصول على الطاقة مثل الجنس : *Thiobacillus* كما في المعادلة الآتية :

$$S + 1\frac{1}{2}O_2 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4 + energy$$

٤ ـ البكتريا التي تؤكسد ايونات الحديدوز المضافة للتربة بشكل كبريتات الحديدوز الى رواسب من هيدروكسيد الحديديك للحصول على الطاقة مثل الجنس : *Ferrobacillus*

$$Fe^{++} \longrightarrow Fe^{+++} + energy$$

جـ ـ أحياء متغايرة التغذية كيميائياً : (Chemoheterotrophs)

وهي الاحياء المجهرية التي تستعمل المركبات العضوية مصدراً للكاربون والطاقة وهذه تشمل جميع الفطريات والابتدائيات ومعظم البكتريا (وجميع الاكتينومايسيتات) . من الاجناس البكتيرية التابعة للاحياء المتغايرة التغذية كيميائياً ، هي : *Rhizobium* المثبت للنتيروجين تعايشياً والجنس : *Azotobacter* المثبت للنتيروجين لا تعايشياً ، والجنس : *Pseudomonas* الذي من انواعه : *P. denitrificans* الذي يختزل النترات الى غاز النتيروجين ، والجنس : *Micrococcus* الذي من أنواعه : *M. ureae* المحللة لليوريا ، والجنس : *Cytophaga* المحلل للسيللوز وغيرها .

د ـ أحياء متغايرة التغذية الضوئية : (photoheterotrophs)

وهذه لغرض اكمال التقسيم ولم يكتشف حتى الآن في التربة أي كائن حي يقع ضمن هذا القسم .

اضافة الى التقسيمات السابقة تقسم بكتريا التربة على قسمين ، مكونة للسبورات **Spore- formers** مثل الجنس ، ***Bacillus*** والجنس ، ***Clostridium*** وغير مكونة للسبورات ، **Non- spore formers** مثل جميع الاجناس الاخرى . كذلك توجد في التربة كما في أي وسط اخر بكتريا موجبة وسالبة لصبغة كرام .

ان مصادر الكاربون قد تأتي من المركبات العضوية أو من CO_2 كما اشرنا سابقا . ان القسم الكبير من المركبات الغذائية العضوية في التربة تكون في حالة غير ذائبة او غير جاهزة للامتصاص من الاحياء اذ تستفيد منها الميكروبات بصورة تدريجية بعد انحلالها بوساطة الانزيمات التي تفرزها تلك الميكروبات وهي ماتعرف بـ **Exoenzymes** أي الانزيمات التي تفرزها الميكروبات الى الخارج وعكسها الانزيمات المعروفة بـ **Endoenzymes** أي الانزيمات التي تفرزها الميكروبات داخل الخلايا من اجل العمليات الايضية . وهناك انزيمات اخرى سيأتي ذكرها ضمن موضوع انحلال المواد العضوية .

الفصل الثالث

« مجاميع أحياء التربة »
Soil Organisms

مقدمة :

تتكون بيئة التربة **Soil Ecosystem** من جزء عضوي **Organic phase** وجزء لاعضوي **Inorganic Phase** وجزء حيوي **Biological phase** . يشكل الجزء العضوي واللاعضوي المصدر االرئيس للكاربون والطاقة والنيتروجين والعناصر الغذائية الأخرى الضرورية اللازمة لنمو الجزء الحيوي وتكاثره من التربة . يتكون الجزء الحيوي من مجاميع رئيسة من الأحياء التي قسم منها مجهرية **Microorganisms** لاترى الا بمساعدة المجهر المركب وأحياناً المجهر الألكتروني وهذه تشمل البكتريا (بضمنها الأكتينو مايسيتات) ، والفطريات ، والطحالب ، والا بتدائيات والفيروسات . والقسم الثاني يمكن رؤيته بالعين المجردة **Macroorganisms** وهذا يشمل الديدان الأرضية . والديدان السلكية ، والنيماتودات ، والنمل الأبيض ، والخنافس .... الخ .

وعلى الرغم من أحتواء التربة على أحياء مجهرية متطفلة على جذور النباتات أو تصيب الحيوانات أو الأنسان ، الا أن الجزء الأكبر من الأحياء المستوطنة في التربة تقوم بانجاز وظائف مهمة جداً للتربة بصورة مباشرة وللأنسان بصورة غير مباشرة . من هذه الوظائف تحليل المخلفات العضوية النباتية أو الحيوانية الأصل وتكوين دبال التربة **Soil Humus** . وناتج التحليل عبارة عن عناصر غذائية مختلفة منها الكاربون ـ والنيتروجين ـ والكبريت ـ والفوسفور ـ والحديد ـ والمنغنيز ..... الخ وكلها جاهزة للأجيال الجديدة من الأحياء الأخرى .

كذلك المواد العضوية السامة من المصادر النباتية أو المبيدات المضافة الى التربة بقصد السيطرة على الأحياء المرضية هي أيضاً يمكن أن تستعمل من أحياء أخرى كمصدر للكاربون والطاقة فتتحلل الى مركباتها المعدنية الأصلية وبذلك تتحول من

مواد سامة الى مواد غير سامة . تجمعات التربة **Soil Aggregates** يمكن أن تتحسن من خلال النشاطات المختلفة للأحياء المجهرية وأفرازاتها .

ومن الممكن كذلك ان تتحول العناصر الغذائية غير الذائبة وغير الجاهزة للنبات الى شكل ذائب جاهز أو بالعكس . وأخيراً لانغالي اذا قلنا انه لولا وجود المجاميع المختلفة من الأحياء في التربة لما كانت هناك حياة على وجه الأرض وذلك من خلال تجهيزها المستمر لغاز ثاني أو كسيد الكاربون الذي يحتاجه النبات . لقد قدر بأن حوالي $\frac{1}{٢٥}$ من غاز ثاني أوكسيد الكاربون الموجود في الجو تستعمله النباتات المختلفة سنوياً والطحالب في عملية التركيب الضوئي وأن حوالي ٧٠ ٪ أو اكثر من الكاربون العضوي يرجع الى الجو كـ CO_2 من خلال النشاطات الحيوية للأحياء المجهرية الموجودة في التربة . يستنتج من ذلك أنه لولا عملية التحلل هذه لنفد غاز CO_2 من الجو خلال عشرات السنين (على فرض أن تكون هذا الغاز من عمليات حرق الأشجار والفحم قليلة جداً ولا يمكن أن تكفي لسد حاجة النبات) .

يمكن التعبير عن نشاط الأحياء بصورة عامة والمجهرية منها بصورة خاصة أحياناً بقياس أعدادها (جدول ١) ويجب أن نلاحظ أنه في هذا الجدول قد تم قياس العدد التقريبي للبكتريا (والاكيتنومايستات) والفطريات (والخمائر) مبني على أساس عدد الخلايا الحية بالأطباق **Plate Count** التي كما هو معروف لا تعطي العدد الحقيقي لما هو موجود أصلاً في التربة وأن طرقاً أخرى حديثة مبنية على أساس قياس كمية الـ **ATP** أو الكتلة الحية **biomass** أو العد المجهري يمكن أن تعطي قيماً كبرى من ذلك . كذلك يمكن التعبير عن نشاط هذه الأحياء بأستعمال مصطلح الكتلة الحية للتربة **Soil Biomass** التي يمكن اعتبارها مؤشراً لمدى خصوبة التربة . تقدر الكتلة الحية أو الوزن الحي للأحياء الموجودة في التربة بحوالي ٠,٥ ـ ٤ طن متري أو اكثر لكل هكتار من التربة (على عمق ١٥ سم) . يجب أن نلاحظ أن الوزن هذا يتوقف على عوامل كثيرة سوف تشرح لاحقاً . كذلك وعلى الرغم من تغلب البكتريا على الفطريات بالعدد في بعض الترب بغض النظر عن الفيروسات التي تكون أعدادها اكبر بكثير الا أن الكتلة الحيوية للفطريات تكون اكبر من كتلة البكتريا بسبب التفرعات الكثيرة للهيفات الفطرية . فيما يلي شرح مفصل لمجاميع التربة من الأحياء المختلفة ذات العلاقة بانتاج الزراعي :

جدول (1) الأعداد التقريبية للأحياء الشائعة في التربة (مارتن ١٩٧٧)

مجموعة الأحياء المجهرية(*	العدد التقريبي / غم تربة جافة
البكتريا	$٣ \times ١٠^{٦} - ٥ \times ١٠^{٨}$
الأكتينومايسيتات	$١ \times ١٠^{٦} - ٢ \times ١٠^{٧}$
الفطريات	$٥ \times ١٠^{٣} - ٩ \times ١٠^{٥}$
الخمائر	$١ \times ١٠^{٣} - ١ \times ١٠^{٥}$
الطحالب	$١ \times ١٠^{٢} - ٥ \times ١٠^{٥}$
الابتدائيات	$١ \times ١٠^{٣} - ٥ \times ١٠^{٥}$
النيماتودا	٥٠ ـ ٢٠٠

١ ـ مجموعة بكتريا التربة Soil Bacteria

البكتريا : تعريفها ووجودها :

البكتريا كائنات حية مجهرية تصنف ضمن المملكة النباتية وأحياناً ضمن مملكة البروتستا وهي موجودة في كل مكان كالهواء ، والتربة وفي المياه وغيرها من البيئات قسم منها تصنع غذاءها بنفسها بعملية التركيب الضوئي وقسم منها تحتاج الى غذاء جاهز . منها ماهو متحرك منها ماهو غير متحرك بعضها هوائية أجبارية أو لاهوائية أجبارية أو هوائية أختيارية . تختلف بالشكل والحجم من كروية لايزيد قطرها على (٢) ميكرونين (١ ميكرون = $\frac{١}{١٠٠٠}$ مليمتر) الى عصوية قصيرة لايزيد طولها على الميكرون الواحد الى عصوية كبيرة قد يصل طولها بضع ميكرومترات .

* اضافة الى ماهو مذكور في الجدول تحوي الترب أعداد كبيرة من الأعفان اللزجة (Slime molds) ، وفاجات البكتريا (bacteriophages) ، والمفصليات ، وديدان الأرض ، وحشرات مختلفة ، وأحياء أخرى

تحتوي جميع الترب على بكتريا ذاتية التغذية تحصل على الكاربون من CO_2 والطاقة من ضوء الشمس **(Photoautotrophs)** وأخرى عضوية التغذية **(Chemoheterotrophs)** وثالثة معدنية التغذية تحصل على الكاربون من CO_2 والطاقة من اكسدة المركبات المعدنية **(Chemoautotrophs)** .

وكذلك توجد في التربة بكتريا تلائمها الحرارة العالية **(Thermophiles)** وأخرى تلائمها الحرارة المتوسطة **Mesophiles** وثالثة تلائمها الحرارة المنخفضة **Psychrophiles** . كما توجد بكتريا مكونة للسبورات وأخرى غير مكونة لها . وفي التربة أيضاً بكتريا محللة للسيللوز أو مؤكدة للكبريت أو مثبتة للنتروجين أو مختزلة للنترات والكبريتات والحديديك وأشكال أخرى كما موضحة في (جدول رقم ٢) .

طرق عد بكتريا التربة :

أستعملت طرق كثيرة لعد بكتريا التربة ولكن ما من طريقة واحدة تعطي العـدد الحقيقـي لما هو موجود في التربة . وفيما يأتي شرح موجز لقسم من هذه الطرق مع ميزاتها وعيوبها .

من المحتمل أن تكون أقدم هذه الطرق هي طريقة العد المجهري المباشر **Direct Microscopic Count** . تتلخص هذه الطريقة بعمل تخافيف من التربة بالماء المعقم ثم يؤخذ حجم معروف (٠,٠١ مل مثلاً) من أحد التخافيف ١٠⁻٥ ، ١٠⁻٦ ، و ١٠⁻٧ ويفرش على مساحة معروفة من شريحة زجاجية . بعد التجفيف والتثبيت تصبغ بأحد الصبغات ثم تحسب عدد الخلايا البكتيرية الموجودة في المجال الميكروسكوبي باستعمال المجهر الضوئي الأعتيادي أو المجهر الألكتروني . عدد المجالات المجهرية معروف ـ المساحة معروفة ـ حجم العينة معروف ـ التخفيف معروف .

من هذه المعلومات يمكن حساب عدد البكتريا في غرام واحد من التربة الرطبة الذي يمكن تحويله الى غرام تربة جافة . ويمكن الأستعاضة عن الشريحة الزجاجية الأعتيادية بشريحة مخصصة لأجراء عملية العد تسمى شريحة عد خلايا الدم **(Haemocytometer)** . ميزة هذه الطريقة سهولتها ويمكن لأي مختص بعلم الأحياء المجهرية أن يجريها من دون صعوبات ولكن لها عيوب منها ، أنها تعطي

جدول (٢) أعداد المجاميع الفسلجية من البكتريات في ترب مختلفة (خلية / غم تربة) (بلزار وريد ، ١٩٧٢)

نوع التربة / المجاميع الفسلجية	حديقة Garden	حقل Field	مسطحات خضراء Meadow	غابات Forest	مالحة Marshland
نسبة الرطوبة	١٧,٩	١٨,١	١٧	٢١,٢	٣٧,٢
نسبة كاربونات الكالسيوم	٤,٧	٥٠	١١,٤	صفر	٧,٦
مجموع البكتريا الهوائية	٢,٨٠٠,٠٠٠	٣,٥٠٠,٠٠٠	٣,٠٠٠,٠٠٠	٩٠٠,٠٠٠	١,٧٠٠,٠٠٠
مجموع البكتريا اللاهوائية	٢٨٠,٠٠٠	١٢٧,٠٠	٦٢٠,٠٠٠	٣٤٥,٠٠٠	٢,١٨٠,٠٠٠
بكتريا تحلل اليوريا	٣٧,٠٠٠	٨,٥٠٠	٥,٢٠٠	٨,٨٠٠	٢,٥٠٠
بكتريا تختزل النيتروجين	٨٣٠	٤٠٠	٨٥٠	٢٨٠	٣٧٠
بكتريا تحلل البكتين	٥٣٥,٠٠٠	٧٠,٠٠٠	٢٣٥,٠٠٠	٨١٠,٠٠٠	٣,٧٠٠
بكتريا تحلل البروتين (لاهوائية)	٣٥,٠٠٠	٢٢,٠٠٠	٣٦,٨٠٠	١٧,٠٠٠	٢,٠٠٠
بكتريا تحلل السيللوز (لاهوائية)	٣٦٧	٣٥٠	٣,٦٧	١٨	١
بكتريا تثبيت النيتروجين (ازوتوباكتر)	٢,٣٥٠	١,٨٨٥	١٨	صفر	١٧
بكتريا تثبيت النيتروجين(كلوستريديوم)	٥,٥٠٠	٧٠٠	٣٧٠,٠٠٠	٢,٠٢٠	٦٧
بكتريا التأرت	٨٨٠	١,٧٠١	٣٧	صفر	٣٤

عدداً اكبر بكثير من العدد الحقيقي للخلايا البكتيرية الموجودة في التربة لصعوبة التفريق تحت عدسة المجهر بين الخلايا التي كانت حية والخلايا التي كانت ميتة قبل التحضير . كذلك صعوبة التمييز بين خلية البكتريا وحبيبة الطين أو المادة العضوية .

طريقة أخرى استعملت لقياس عدد البكتريا الحية فقط **Viable count** باستعمال اوساط غذائية متخصصة تسمى **Standard Plate Technique** وذلك بعمل تخافيف من التربة في الماء المعقم ($١٠^{-٥}$ ، $١٠^{-٦}$ ، $١٠^{-٧}$) ثم زراعة حجم معين من كل تخفيف (مل واحد) في وسط غذائي ملائم مع ملاحظة وجود عدد من المكررات (٤ أو ٥ مكررات لكل تخفيف) . بعد التحضين مدة من الزمن (٣ أيام أو اكثر) يتم حساب عدد المستعمرات النامية التي يساوي عددها عدد الخلايا البكتيرية التي كانت موجودة في مل واحد من التخفيف على فرض ان كل مستعمرة نمت من خلية واحدة فقط . يحول هذا العدد الى غرام تربة رطبة ثم الى غرام تربة جافة وذلك بضرب عدد المستعمرات في مقلوب التخفيف الذي جاءت منه . هذه الطريقة تعطي أقل من العدد الحقيقي لبكتريا التربة وذلك للأسباب الآتية ،

١ ــ عدم التجانس في أخذ عينة التربة من الحقل ويمكن التغلب عليها بأخذ عينات كثيرة وخلطها لكي تصبح ممثلة للحقل .
٢ ــ عدم التجانس عند تحضير التخافيف وذلك لأن قسماً من البكتريا تكون نامية أصلاً في التربة بشكل مستعمرات ومن الصعوبة تفريقها عن بعضها مهما كانت عملية الرج كفأة .
٣ ــ عدم وجود وسط غذائي يلائم جميع الأجناس والأنواع البكتيرية الموجودة في التربة .
٤ ــ تكون المستعمرة البكتيرية النامية أحياناً على سطح الوسط الغذائي ناتجة من اكثر من خلية واحدة .

طريقة العد الأكثر أحتمالاً **The Most Probable Number Technique** هي ايضاً استعملت في أيجاد عدد أجناس معينة من البكتريا كبكتريا النترجة مثلاً . تتلخص هذه الطريقة بعمل تخافيف من التربة بالماء المعقم ($١٠^{-٥}$ ، $١٠^{-٦}$ ، $١٠^{-٧}$.

ثم تلقيح أنابيب تحوي بيئة ملائمة لذلك الجنس من البكتريا بـ ١ مل من أحد هذه التخافيف (على الأقل ٥ مكررات لكل تخفيف) . بعد التحضين تحت ظروف ملائمة مدة من الزمن (أسبوع أو اكثر حسب نوع البكتريا) تفحص كل أنبوبة من كل تخفيف لمشاهدة النمو البكتيري (تحول الوسط الغذائي من رائق الى عكر) أو تفحص مجهرياً ثم نحصل على عدد الأنابيب الموجبة (التي أعطت نمواً) من كل تخفيف . وبالرجوع الى جداول أحصائية مخصصة لذلك يمكن معرفة عدد البكتريا لكل غرام تربة .

طريقة أخرى وصفية استعملت لدراسة الحياة الطبيعية للبكتريا بصورة خاصة وبينها وبين الأحياء الأخرى بصورة عامة مباشرة في التربة . وهذه الطريقة قد طورت من العالمين روزي وكولودني وسميت **Rossi and Cholodny Buried Slide Technique** . تتلخص هذه اطريقة بذفن شريحة زجاجية أو أثنتين متلاصقتين بعضهما ببعض في التربة في (بيكر) زجاجي بعد التحضين مدة أسبوع أو أكثر تؤخذ الشريحة وتنظف جيداً من حبيبات التربة العالقة بها ثم يصبغ الغشاء الميكروبي النامي عليها بصبغة معينة كصبغة الـ **Phenolic Rose Bengal** ثم يفحص تحت المجهر .

إن تقديرات عدد البكتريا في تربة ما يختلف بأختلاف طريقة التقدير فطريقة عد الخلايا الحية بالأطباق تعطي مئات الألوف حتى ٢٠٠ مليون خلية بكتيرية لكل غرام تربة جافة . أما طريقة العد مجهرياً لنفس العينة من التربة فأنها تعطي بحدود عشر مرات أو مئة مرة اكثر من ذلك . لذلك فالطريقة الأولى تعطي فقط بحدود ١٠ ٪ مما نحصل عليه بالطريقة الثانية ولكن ما زالت الأولى هي المفضلة للعيوب الموجودة في الطريقة الثانية المذكورة سابقاً .

يفضل الكثير من الباحثين أستعمال الأوساط الغذائية المنتخبة أو الغنية لأيجاد أعداد أنواع محددة من البكتريا . وميزة الوسط الغذائي المنتخب أنه يحوي على مواد معينة تساعد على نمو نوع محدد من البكتريا دون الأنواع الأخرى . وبهذه الطريقة تمت دراسة أعداد البكتريا المحللة لليوريا ـ المحللة للبروتين ـ للسيللوز ـ للبكتين .... الخ وذلك بأضافة اليوريا ـ البروتين ـ السيللوز ـ أو البكتين الى الوسط الغذائي قبل التقليح بتخفيف التربة لجعله منتخباً لمساعدة نمو البكتريا المحللة لهذه المواد .

تعد الدراسات الحديثة عن نشاط البكتريا في تربة ما بتعبير آخر هو الكتلة الحية (Biomass) لكل هكتار من التربة أو لكل دونم حجم أو وزن. وذلك بتحويل الأعداد التي نحصل عليها بالطرق السابقة الى حجم من التربة الذي يشغله ذلك العدد حسبما ما يأتي :

نفرض إن عدد البكتريا كان $١٠^{٨}$ لكل $سم^{٣}$ من التربة ولنفرض أن حجم الخلية البكترية كمعدل هو ١ مايكروميتر مكعب . فالحجم الذي يشغله هذا العدد من البكتريا بالنسبة لحجم التربة يحسب كما يأتي :

١ $سم^{٣}$ = ١٠٠٠٠ × ١٠٠٠٠ × ١٠٠٠٠ = $١٠^{١٢}$ مايكرميتر مكعب. نسبة حجم البكتريا = $\frac{١٠^{٨}}{١٠^{١٢}}$ × ١٠٠ = ٠,٠١ ٪ من حجم التربة. لو كان العدد $١٠^{٩}$ فأنه يشغل حجماً قدره ٠,١ ٪ من حجم التربة وهكذا بعمليات حسابية بسيطة يمكننا أيجاد حجم البكتريا في أي حجم من التربة . ولتحويل العدد الى وزن أو كتلة حية نجري الحسابات التالية نفرض أن معدل وزن الخلية البكتيرية الرطب = ١,٥ × $١٠^{-١٢}$ غم . فاذا كان عدد البكتريا في تربة ما = $١٠^{٨}$ فان وزنها يساوي ١,٥ × $١٠^{-٤}$ غم . لتحويلها الى نسبة مئوية نضرب في ١٠٠ فتكون ٠,٠١٥ ٪. لتحويلها الى وزن هكتار من التربة نحصل على وزن ٣٠٠ كغم كتلة حية من البكتريا (على أساس وزن الهكتار من التربة يساوي ٢٠٠٠٠٠٠ كغم على عمق ١٥ سم) . لتحويلها الى دونم من التربة نقسم على ٤ فنحصل على وزن قدره ٧٥ كغم. لو كان عدد البكتريا $١٠^{٩}$ فيكون الوزن ٣٠٠٠ كغم / هكتار أو ٧٥٠ كغم / دونم . تقادير الكثير من الباحثين تشير الى تقديرات تتراوح بين ٠,٠١ ٪ ــ ٠,٤ ٪ كتلة حية أي من ١٠٠ كغم الى ٤٠٠٠ كغم / هكتار من التربة . من تقديرات الكتلة الحية ويمكننا معرفة خصوبة التربة فبصورة عامة كلما زادت كتلة البكتريا في تربة ما زاد نشاطها وكلما كانت التربة اكثر خصوبة أيضاً .

لا يمكن للبكتريا الغير المتحركة ان تكون حرة في محلول الترب ويجب ان تلتصق بحبيبة طين او مادة عضوية عن طريق روابط الكتروستاتية **Electrostatic Bonding** حيث يحمل الطين أو المادة العضوية شحنات سالبة تنجذب لها الخلايا البكتيرية التي تحمل شحنات موجبة في بعض التراكيب المكونة لجدارها فتلتصق بها ولا يمكن للماء المار من خلال التربة الى الماء الأرضي أن يفصلها عن الطين أو المادة العضوية .

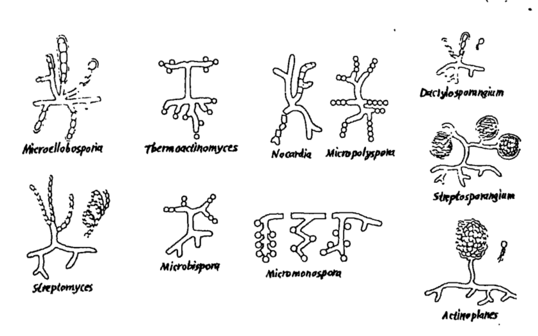
٢ ـ مجموعة أكتينومايسيتات التربة **Soil Actinomycetes**

الأكتينومايسيتات أحياء مجهرية وحيدة الخلية هوائية (عدا الجنس *Actinomyces*) الذي يشكل مايسيليوم متفرعاً شبيهاً بمايسيليوم الفطريات عدا كونه دقيقاً وقطره يتراوح بين ٠,٥ ـ ١ مايكرون وقد يصل أحياناً الى ٢ مايكرون . تتكاثر الأكتينومايسيتات بتجزء الهيفات الى أجزاء كروية أو أسطوانية وقسم منها تتكاثر بتكوين سبورات لا جنسية (كويندبات **Conidia** أو السبورات الموجودة في حافظة السبورات **(sporangiospores)** . المستعمرات النامية على سطح البيئة الغذائية تشبه مستعمرات الفطريات إضافة إلى أنها لا تكون عكاره في الأوساط الغذائية السائلة . لهذه الأسباب أعتقد سابقاً أن الأكيتنومايسيتات هي فطريات للتشابه الكبير بين الأثنين شكلاً وتكاثراً ولكن الدراسات أثبتت بما لا يقبل الشك بأنها بكتريا . فخليتها التي هي من نوع بدائية النواة **Procaryote** وغلافها الذي يتركب كيمياوياً من معقدات تتكون من أرتباط كل من السكريات والسكريات الأمينية والأحماض الأمينية **(Peptidoglycan)** ، وبذلك فهو يشابه تماماً غلاف البكتريا الموجبة لصيغة كرام . أضف الى ذلك التشابه بينها وبين البكتريا الأخرى من حيث ، حساسيتها للمضادات الحيوية وللبكتريوفاج وملاءمتها للترب القاعدية وقطر الخلية الدقيق . كل هذه الأمور أدت الى تصنيفها ضمن البكتريا وليس الفطريات . في الوقت الحاضر تشكل الرتبة **Actinomycetales** أحد الرتب العشر التي تصنف لها البكتريا .

تكثر الأكتينومايسيتات في التربة وفي خليط المخلفات العضوية **Composts** وفي الأنهار وحتى في أسفل البحيرات . أعدادها في التربة تأتي بعد أعداد البكتريا الأخرى وأحياناً تكونان متكافئتين في العدد . معظم الأكتينومايسيتات ورمية التغذية **Saprophyte** تعيش على الأنسجة العضوية الميتة ولكن قسماً قليلاً من الانواع تسبب أمراض للأنسان والحيوان والنبات .

من الممكن أجراء عملية عد لأكتينومايسيتات التربة بطريقة العد المجهري المباشر أو بطريقة الأطباق لعد الخلايا الحية ولكن الأخيرة هي التي تعطي العدد التقريبي لما هو موجود في التربة . لغرض دراسة أعدادها وأجناسها المتغلبة في تربة ما يستعمل أحياناً نفس الوسط الغذائي المستعمل في دراسة بكتريا التربة الأخرى بشرط أن تكون فترة التحضين أطول بسبب النمو البطيء لها . تشكل مستعمرات

الأكتينومايسيتات النامية في هذا الوسط بين ١ ــ ٥٠ ٪ من المستعمرات النامية ولكن كمعدل بحدود ١٠ ٪. لذلك يفضل أستعمال وسط غذائي متخصص لدراسة الأكتينومايسيتات وفي الوقت الحاضر يستعمل الكيتين مصدراً للكربون والطاقة من كثير من أجناس أكتينومايسيتات التربة. لذلك تضاف هذه المادة الى الوسط الغذائي إضافة الى أحتواء الوسط على مواد مانعة لنمو البكتريا الأخرى والفطريات وتكاثرها. ومن مشاكل عملية العد بالأطباق إضافة الى ما ذكر سابقاً صعوبة معرفة ما إذا كانت المستعمرة النامية قد أتت من كونيديا أو من هايفا أو من جــزء من ما يسيــليــوم . بصــورة عامــة وكمعدل عددها يتراوح بين ١٠^٢ ــ ١٠^٨ خليــة تكاثرية / غم تربة. بعض أجناس أكتينومايسيتات التربة الشائعة موضحة في شكل (١)



شكل (١) بعض اجناس اكتينومايسيتات التربة الشائعة .

العوامل التي تؤثر في وجود بكتريا التربة : ـ

١ ـ المادة العضوية

معظم بكتريا التربة (وجميع الاكتيومايسيتات) تصنف بالنسبة لمصدر الكاربون والطاقة بأنها عضوية (متباينة) التغذية أي تستعمل المادة العضوية في بناء بروتوبلازم الخلية . أعداد البكتريا وكتلتها في الترب المعدنية تتناسب طردياً مع محتواها من المادة العضوية فالتربة الغنية بالدبال **Humus** تحوي أعداداً كبيرة من البكتريا بشرط أن تكون العوامل الأخرى ملائمة . إن إضافة المواد الكاربونية بصورة مخلفات عضوية نباتية أو حيوانية لها تأثير أيجابي في أعدادها في التربة

فأضافة هذه المخلفات الى تربة ما تشجع نمو البكتريا والفطريات أولاً ثم تظهر الأكتينومايسيتات في المراحل الأخيرة من التحلل وذلك بعد أستهلاك البكتريا والفطريات للأجزاء العضوية السهلة .

. إن سبب زيادة أعداد الخلايا البكتيرية في الطبقات السطحية من التربة (منطقة الرايزوسفير **Rhizosphere**) يعود الى كثرة المادة العضوية فيها التي مصدرها بقايا النباتات أو الحيوانات التي تضاف الى التربة وكذلك الأفرازات المستمرة لجذور النباتات النامية من احماض أمينية ومنظمات نمو وفيتامينات وإفرازات أخرى ، إضافة الى الخلايا الميكروبية والحيوانات الصغيرة الميتة التي هي أيضاً يمكن أن تستعمل غذاءاً عضوياً للاحياء الأخرى . وبصورة عامة يمكن القول أن أية عملية تزيد من المصدر العضوي في التربة سوف تزيد من أعداد بكتريات التربة .

٢ ـ العناصر المعدنية

البكتريا كأي كائن حي آخر بحاجة الى العناصر المعدنية المختلفة اضافة الى المادة العضوية . فهي بحاجة الى النيتروجين ، والفوسفور ، والبوتاسيوم ، والكالسيوم ، والصوديوم ، والمغنيسيوم ، والحديد ، والموليبيديوم ... الخ . اعداد بكتريا التربة بصورة خاصة والأحياء الاخرى بصورة عامة تتأثر تأثراً مباشراً باضافة الاسمدة اللاعضوية بقصد تغذية النبات . وفي بعض الأحيان يكون للأسمدة النيتروجينية تأثير سلبي في بعض الأجناس من البكتريا . فتكون غاز الأمونيا من

تحلل سماد اليوريا له تأثير قاتل لا بسبب عنصر النيتروجين نفسه فحسب ولكن بسبب الحموضة التي تنتج من أكسدة الأمونيوم الى نترات بعملية النترجة .

٣ ـ رطوبة التربة

البكتريا بحاجة الى رطوبة لبناء بروتوبلازم الخلية وللتكاثر والنمو. زيادة الرطوبة (أمطار غزيرة أو الري المستمر) تؤثر في أعدادها بصورة غير مباشرة إذ تولد ظروفاً لا هوائية تساعد على نمو البكتريا اللاهوائية فقط أما البكتريا التي تحتاج الى أوكسجين لنموها فهي إما أن تموت أو تبقى ساكنة لحين توفره . وأحسن رطـوبة ملائمـة لنمو البكتريا الهوائية ونشاطاتها بين ٥٠ ـ ٧٥ ٪ من السعة التشبعية للتربة **(WHC)** . معظم أكتينومايسيتات التربة لا يمكن أن تنمو عندما تكون نسبة الرطوبة بين ٨٥ ـ ١٠٠ ٪ من السعة التشبعية لأن معظمها هوائية ، جفاف التربة له أيضاً تأثير سلبي في أعدادها ولكن تأثيره يكون أقل في أكتينومايسيتات التربة لامكانها أن تتحمل ظروف جفاف اكثر وقد تصل نسبتها الى حد ٩٠ ٪ من البكتريا الحية في المناطق الجافة وخصوصاً الصحراوية منها ، في هذه الحالة تتغلب الأجناس التي تتكاثر بالكونيديات وخصوصاً الجنس ***Streptomyces*** لأن الجزء الخضري بحاجة الى رطوبة للنمو والتكاثر.

٤ ـ درجة الحرارة

الحرارة من العوامل المهمة التي تؤثر في الفعاليات الحيوية ونشاطات أنزيمات الخلية . ولكل جنس من البكتريا درجة حرارة ملائمة له وإذا زادت أو أنخفضت عن ذلك فأنها تؤثر في نموه وتكاثره . معظم بكتريا التربة تقع ضمن المدى الحزاري المتوسط **(Mesophiles)** واحسن نمو لها يكون بين ٢٥ ـ ٣٥°م ويمكنها ان تنمو في درجة حرارة بين ١٥ ـ ٤٥° م . بعض الأنواع البكتيرية تعطي أحسن نمو لها عند درجة حرارة أقل من ٢٠° م **(Psychrophiles)** . بكتريا حقيقية من هذا النوع غير موجودة في التربة لأن البكتريا التي تنمو وتتكاثر في فصل الشتاء يعد من القسم السابق ولكنها مقاومة للبرودة . قسم من البكتريا تفضل درجات الحرارة المرتفعة **(Thermophiles)** التي تعطي أحسن نمو لها بين ٤٥ ـ ٦٠° م . قسم منها لا تنمو عند درجة حرارة أقل من ٤٠° م . ولا يمكن للأكتينومايسيتات من نوع

Mesophiles أن تنمو في درجة حرارة أقل من ٥° م ولا أعلى من ٣٩° م والمدى الحراري لها بين ٢٨ ـ ٣٧° م. بعض الأجناس تتحمل درجات الحرارة المرتفعة وتصنف ضمن الـ **Thermophiles** مثل الجنس ***Thermomonospora*** و ***Thermoactinomyces*** .

٥ ـ درجة تركيز أيون الهيدروجين (pH) للتربة

الترب ذات الظروف الحامضية العالية أو القلوية العالية تؤثر في الكثير من الأنواع البكتيرية. الترب المتعادلة هي الملائمة لنمو معظم أنواع البكتريا المعروفة. عند رقم **pH** ٥ ـ ٥,٥ تبدأ أعدادها بالنقصان وعند رقم **pH** ٤ يقل العدد بشكل ملحوظ. بصورة عامة يمكن القول أن البكتريا تتغلب على الفطريات عدداً ووظيفة عند رقم **pH** ٧ أو أكثر قليلاً. وتتغلب الفطريات على البكتريا عدداً ووظيفة عند رقم **pH** أقل من ٥,٥ . إضافة مادة اللايم (كاربونات الكالسيوم) الى الترب الحامضية يزيد من أعداد بكتريا التربة. كثير من أكتينومايسيتات التربة لا يمكن ان تنمو عند **pH** اقل من ٥ وفي الترب الحامضية لا تزيد اعدادها على ١٪ من الخلايا الحية اما في الترب القلوية فقد تصل اعدادها حتى ٩٥ ٪ من الاحياء الاخرى . في المناطق التي يكثر بها مرض جرب البطاطا **Potato scab** الذي مسببه النوع ***Streptomyces scabie*** يضطر المزارعون الى رفع حموضة التربة (خفض رقم الـ **pH**) باضافة الكبريت كوسيلة ناجحة لمنع انتشار المرض. كما ان اضافة الاسمدة الامونيومية يمكن ان تزيد من حموضة التربة بسبب اكسدة الامونيوم الى نترات .

٦ ـ العمليات الزراعية

عمليات حراثة التربة لها تأثير مباشر أو غير مباشر في نمو بكتريا التربة وأعدادها فهي تحسن تركيب التربة ونفاذيتها وبالتالي فهي تساعد على حركة الهواء والماء فتولد ظروفاً هوائية تساعد على زيادة أعداد البكتريا الهوائية كما تعمل الحراثة أيضاً على قلب بقايا النباتات والأدغال داخل التربة فتوفر مصدراً غذائياً جيداً للبكتريا وبصورة عامة تكون أعداد الخلايا البكتيرية اكثر في التربة المحروثة عنها في التربة البكر وفي التربة المزروعة بمراع أو حشائش عن غير المزروعة .

٧ ـ عمق التربة :

العمق داخل مقطع التربة من العوامل الاخرى المهمة التي تؤثر في البكتريا ونشاطاتها . كما قلنا سابقاً تتركز البكتريا بصورة خاصة والاحياء الاخرى بصورة عامة في الخمسة عشر سنتمتراً الاولى من سطح التربة بسبب زيادة المادة العضوية . وتقل على السطح مباشرة في الترب غير المزروعة او المزروعة بمحاصيل بسبب التاثير القاتل لاشعة الشمس . كذلك تقل كلما تعمقنا في التربة (جدول رقم ٣) بسبب قلة المادة العضوية والاوكسجين وزيادة ثاني اوكسيد الكاربون . اما في تربة الغابات المظللة او ترب البساتين او ترب المسطحات الخضراء فيكون عدد البكتريا كبيراً في الطبقة السطحية . في الترب العضوية تختلف الصورة حيث تكون اعداد البكتريا كبيرة جداً حتى على عمق ١٦٠ سم من السطح . اعداد الاكتينومايسيتات هي ايضاً تقل كلما تعمقنا في التربة ولكن نسبتها تكون اكبر من انواع البكتريا الآخر وذلك بسبب إنتقال الكونيديات الى اعماق التربة بوساطة الماء حتى الافق الثالث من قطاع التربة (طبقة C) العميقة فإن عددها يتراوح بين $١٠^{٢}$ ـ $١٠^{٥}$ لكل غرام تربة

جدول (٣) توزيع الاحياء المجهرية في الطبقات المختلفة لقطاع التربة (الكسندر ١٩٧٧) .

العمق سم	العدد لكل غرام تربة × $١٠^{٣}$				
	البكتريا الهوائية	البكتريا اللاهوائية	الاكتينوما يسيتات	الفطريات	الطحالب
٣ ـ ٨	٧٨٠٠	١٩٥٠	٢٠٨٠	١١٩	٢٥
٢٠ ـ ٢٥	١٨٠٠	٣٧٩	٢٤٥	٥٠	٥
٣٥ ـ ٤٠	٤٧٢	٩٨	٤٩	١٤	٠,٥
٦٥ ـ ٧٥	١٠	١	٥	٦	٠,١
١٣٥ ـ ١٤٥	١	٠,٤	ـ	٣	ـ

٨ ـ ملوحة التربة :

كلما زادت ملوحة التربة كان لها تأثير سلبي على الاحياء المجهرية بصورة عامة . ويمكن القول ان البكتريا يمكن ان تتحمل تراكيز عالية من الملوحة نوعا ما حتى ٨ ملليموز / سم من التوصيل الكهربائي . اما الاكتينومايسيتات فيمكنها ان تتغلب على البكتريا الاخرى عند زيادة ملوحة التربة .

٩ ـ فصول السنة :

في فصل الربيع والخريف يزداد عدد البكتريا بسبب درجة الحرارة الملائمة ووجود الرطوبة وبقايا المحاصيل التي تقلب في التربة لتصبح فيما بعد غذاءاً جاهزاً للاحياء المجهرية . وعلى العكس ففي فصل الشتاء البارد او فصل الصيف الحار فإن معظم البكتريا والاكتينومايسيتات لا تموت تحت هذه الظروف ولكنها تبقى حية ساكنة او قليلة النشاط لتقاوم فترة البرودة او الانجماد القاسية او الحرارة العالية . وعلى الرغم من ان قسماً منها تموت في هذه الظروف الا انه وجد ان اعدادها في الربيع تساوي عدد ما كانت عليه في الخريف تقريباً . وحتى في المناطق القطبية التي يطول فيها فصل الانجماد بين ٩ ـ ١٠ اشهر من السنة ودرجة الحرارة لا ترتفع اكثر من ١٠° م خلال الثلاثة اشهر الباقية فقد وجد ان عدد البكتريا يكون بحدود المليون خلية لكل غرام من التربة . وتكون ـ بالطبع ـ ساكنة في فصل الانجماد وتصبح نشيطة خلال اشهر الربيع الدافئة .

تصنيف بكتريا التربة :

حسب ما ورد في كتيب **(Bergey's Manual)** جميع البكتريا **Class: Schizomycetes** يقع ضمن المملكة النباتية **Kingdom: Planta** (احياناً **Kingdom: protista**) التي تقسم على عشر رتب . ليست كلها موجودة في التربة ولذلك سنركز في موضوعنا هذا على الرتب التي توجد اجناسها في معظم الترب . وكذلك سوف يكون التركيز على بعض الميزات التي يتميز بها الجنس عن الآخر .

الرتبة الاولى : Pseudomonadales

البكتريا التابعة لهذه الرتبة تكون ذات شكل عصوي ـ سالبة لصبغة كرام ـ متحركة بوساطة سوط واحد (Monotrichous) او اكثر من طرق واحد (Lophotrichous) او من طرفي الخلية (Amphitrichous) غير مكونة للسبورات . قسم منها Chemoautotrophs وقسم آخر Chemoheterotrophs وقسم ثالث Photoautotrophs . الاجناس الموجودة في التربة تابعة للعوائل التالية :

العائلة الاولى Pseudomonadaceae : متمثلة بالاجناس *Pseudomonas* ، *Xanthomonas* ، *Acetobacter* . جميعها Chemoheterotrophs . بصورة عامة تحوي الترب ملايين من الخلايا التابعة لانواع عديدة من الـ *Pseudomonas* لكل غرام تربة قد تصل نسبة وجودها في بعض الترب بين ٣ ـ ١٥ ٪. معظمها هوائية ووظيفتها اكسدة وتحليل المركبات العضوية . قسم من الانواع لاهوائية اجبارية مثل *P. denitrificans* التي تختزل النترات الى غاز النيتروجين .

العائلة الثانية Thiobacteriaceae : متمثلة بالجنس *Thiobacillus* وبالأخص *T. thiooxidans* التي تقوم بأكسدة الكبريت *S* الى كبريتات $SO_4^{=}$. *T. ferrooxidans* التي تقوم بأكسدة الحديدوز الى حديديك . كلا النوعين Chemoautotrophs .

العائلة الثالثة Nitrobacteriaceae : متمثلة بالجنس *Nitrosomonas* التي تقوم بأكسدة الامونيوم NH_4^+ الى نتريت NO_2^- والجنس *Nitrobacter* التي تقوم بأكسدة النتريت الى نترات NO_3^- كلاهما ايضاً Chemoautotrophs .

العائلة الرابعة Caulobacteriaceae: متمثلة بالجنس *Caulobacter* والجنس *Gallionella* ولكليهما ساق هو عبارة عن ترسبات من هيدروكسيد الحديديك (لانهما يؤكسدان الحديدوز الى حديديك) ولذلك يسميان (Stalked bacteria) . قد تصل اعداد هذه الاجناس في بعض الترب الى حد ٢٥٠,٠٠٠ خلية لكل غرام تربة .

الرتبة الثانية Hyphomicrobiales : متمثلة بالجنس *Hyphomicrobium* الذي يتكاثر بالتبرعم . توجد بصورة رئيسية في البيئات المائية ولكن وجدت ايضاً في التربة .

الرتبة الثالثة Eubacteriales او البكتريا الحقيقية : معظم بكتريا التربة تابعة لهذه الرتبة . جميعها Chemoheterotroph وقسم منها طفيلية . للسهولة سوف نقسمها على المجاميع الآتية :

المجموعة الاولى : العوائل التي تكون الاجناس التابعة لها عصوية الشكل ـ سالبة لصيغة كرام ـ متحركة بوساطة مجموعة من الاسواط من جميع اطراف الخلية Peritrichous . تشمل العوائل الآتية :

١ ـ **Azotobacteriaceae** : متمثلة بالجنس *Azotobacter* المثبتة للنيتروجين بصورة حرة بالتربة .

٢ ـ **Rhizobiaceae** : متمثلة بالجنس *Rhizobium* التي تثبت النتروجين بصورة تعايشية مع النباتات البقلية .

٣ ـ **Achromobacteriaceae** : متمثلة بالأجناس *Alcaligenes* التي تتراوح نسبة وجودها في التربة بين ٢ ـ ١٢ ٪ و *Flvobacterium* الذي تتراوح نسبة وجوده بين ٢ ـ ١٠ ٪ والجنس *Achromobacter* . جميعها تعيش معيشة رمية في التربة saprophyte معتمدة على تحليل المخلفات العضوية المختلفة .

٤ ـ **Enterobacteriaceae** : متمثلة بالأجناس *Escherichia* ، *Proteus* ، *Shigella, Salmonella, Erwinia, Enterobacter* المرضية التي تصل التربة عن طريق الفضلات لتبقى فيها مدة قصيرة لعدم امكانها منافسة البكتريا الأخرى المتوطنة فى التربة .

المجموعة الثانية : العوائل التي تكون الأجناس التابعة لها عصوية الشكل ـ موجبة لصبغة كرام ـ غير متحركة بصورة عامة ـ غير مكونة للسبورات . وتشمل :

١ ــ **Lactobacillaceae** : متمثلة بالجنس ***Lactobacillus*** الذي قد يكون له أهمية في عمليات التخمر وأنتاج الحوامض العضوية في الترب الغدقة .

٢ ــ **Corynebacteriaceae** : متمثلة بالجنس ***Corynebacterium*** المقارب للجنس ***Arthrobacter*** وكلاهما يسميان **Coryne- form bacteria** المتعددة الأشكال **(pleomorphic)** . قد تتراوح نسبة وجود الجنس ***Arthrobacter*** في بعض الترب بين ٥ ــ ٦٠ ٪ من البكتريات النامية . وتغلبه هذا يعود الى مقاومته للظروف القاسية فترة طويلة . وكلا الجنسين لهما دور مهم في تحليل المخلفات العضوية .

المجموعة الثالثة : تشمل عائلة واحدة هي **Bacillaceae** التي أجناسها تكون عصوية الشكل ــ موجبة لصبغة كرام ــ متحركة . ومكونة للسبورات . مثل الجنس ***Bacillus*** الهوائية والجنس ***Clostridium*** اللاهوائية الأجبارية . قد تتراوح نسبة وجود الجنس الأول بين ٧ ــ ٦٧ ٪ (حوالي ١٠^٦ ــ ١٠^٧ خلية / غرام تربة) أما الثاني فتتراوح أعداده بين ١٠^٣ ــ ١٠^٧ / غم تربة في المناطق الغدقة .

طريقة عزل كلا الجنسين سهلة جداً وذلك بعمل بسترة لتخافيف التربة في الماء المعقم للقضاء على الخلايا الخضرية ثم التحضين تحت الظروف الهوائية في وسط غذائي ملائم لعزل الجنس ***Bacillus*** أو الظروف اللاهوائية لعزل الجنس ***Clostridium*** .

المجموعة الرابعة : تشمل عائلة واحدة **Micrococcaceae** وهي التي تكون أجناسها ذات شكل كروي ــ موجبة لصبغة كرام ــ غير متحركة ــ غير مكونة للسبورات . مثل الأجناس ***Sarcina, Micrococcus*** ***Staphylococcus*** . نسبة وجود هذه الأجناس في التربة أقل من ٥ ٪ وقد لا توجد في بعض الترب .

الرتبة الرابعة Actinomycetales

تشمل مجموعة الأكتينومايسيتات . جميعها **Chemoheterotrophs** موجبة لصبغة كرام . وتضم ثمانية عوائل هي :

١ ـ **Mycobacteriaceae** : متمثلة بالجنس *Mycobacterium* العصوية الشكل وأحياناً خيطية **filamentous** ـ لا تكون سبورات وهي من البكتريا المقاومة للأحماض **acid-fast** نظراً لأحتواء الخلية على كمية كبيرة من حامض المايكوليك **(mycolic acid)** . أكثر الأنواع وجوداً في التربة هو *M. phlei* .

٢ ـ **Streptomycetaceae** : تتميز البكتريا التابعة لهذه العائلة بأنها تتكاثر بتكوين سلسلة من الكونيديات (٥ ـ ٥٠) أو أكثر. مثل الجنس *Streptomyces* .

٣ ـ **Micromonosporaceae** : تحمل الهيفا كونيديوم واحدة مثل الجنس *Micromonospora* أو أثنتين مثل الجنس *Microbispora* أو سلسلة قصيرة من الكونيديات مثل الجنس *Micropolyspora* . كذلك تضم هذه العائلة بعض الأجناس المحبة للحرارة العالية مثل الجنس *Thermomonospora* والجنس *Thermoactinomyces* .

٤ ـ **Nocardiaceae** : تتميز هذه العائلة بأنها تتكاثر بتجزؤ الهيفات الى أجزاء كروية أو أسطوانية مثل الجنس *Nocardia* الذي يأتي بعد الجنس *Streptomyces* في تغلبه في الكثير من الترب وكذلك الجنس *Pseudonocardia* .

٥ ـ **Actinomycetaceae** : تتميز بأنها لا تنتج مايسيليوم حقيقي وأنها قد تكون أجناسها لا هوائية أجبارية أو اختيارية مثل الجنس *Actinomyces* .

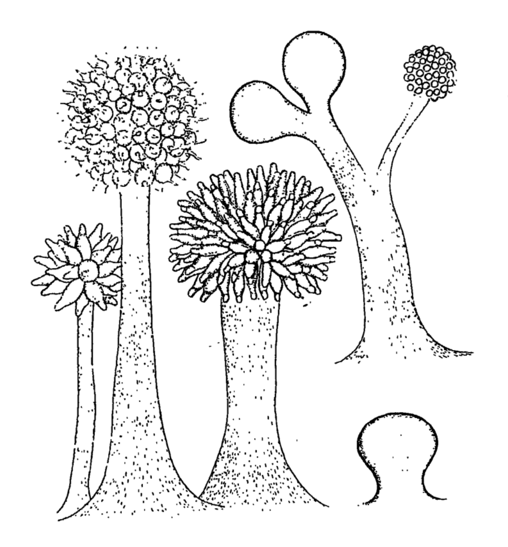
٦ ـ **Actinoplanaceae** : تتكاثر بوساطة السبورات التي توجد في المحفظة السبورية **sporangiospores** مثل الجنس *Streptosporangium* والجنس *Actinoplanes* والجنس *Planobispora*

٧ ـ **Dermatophilaceae** : الهيفات في هذه العائلة تتجزأ الى أعداد كبيرة من التراكيب الكروية المتحركة مثل الجنس *Geodermatophilus* .

٨ ـ **Frankiaceae** : متمثلة بالجنس **Frankia** الذي يعيش داخل عقد جذرية على جذور النباتات غير البقلية ولا يمكن أن يعيش بعيداً عن النبات العائل .

الرتبة الخامسة : Myxobacteriales

تسمى البكتريا اللزجة slime bacteria تتميز بأن لها طورين من الحياة. طور خضري عبارة عن أشكال من الخلايا العصوية المرنة تتحرك بالأنزلاق . تشبه البكتريا الحقيقية ولكنها عديمة الغلاف . تتغذى بصورة رئيسة على البكتريات الأخرى . في أحد مراحل النمو وعند الظروف القاسية تجتمع الخلايا الخضرية لتكون كتلة من الخلايا الساكنة محمولة على أجسام ثمرية متخصصة (شكل ٢) .



شكل (٢) يوضح الخلايا الخضرية والاجسام الثمرية Myxobacterium

توجد بصورة رئيسة على سطح التربة أو المخلفات العضوية حيث وظيفتها تحليل كل من السيللوز والكيتين وحتى الآكار. من الأجناس التابعة لهذه الرتبة *Myxococcus* ، *Polyangium* ، و *Archangium* . من الممكن عزل بعض هذه الأجناس من التربة وذلك باضافة كمية قليلة من التربة في وسط طبق بتري يحوي بيئة غذائية صلبة نامية عليها بكتريا من جنس معين. بعد التحضين يمكن مشاهدة الأجسام الثمرية بالعين المجردة. تفرز هذه الكائنات الحية أنزيمات خارجية تحلل الخلايا البكتيرية لتستعملها كغذاء. أعدادها تتراوح بين ٢٠٠٠ ــ ٦٠٠٠ خلية لكل غرام تربة وأعدادها تكون اكبر في الترب الرطبة.

٣ ــ مجموعة فطريات التربة Soil Fungi

الفطريات : تعريفها ووصفها

الفطريات كائنات حية قد تكون وحيدة الخلية كما في الخمائر **yeasts** أو متعددة الخلايا كما في الأعفان **Molds** . يتكون العفن من مايسيليوم قد يكون مقسماً أو غير مقسم والذي بدوره يتكون من مجموعة من الهيفات. جميع الفطريات عديمة الكلوروفيل (تحتاج الى غذاء عضوي جاهز **chemoheterotrophs**). تتكاثر لا جنسياً بتكوين الكونيديات **Conidia** المحمولة على حامل الكونيديات **Conidiophore** أو بتكوين السبورانجيوسبورات **sporangiospores** الموجودة داخل **sporangium** المحمولة على الـ **Sporangiophore** أو بالتبرعم **Budding** بالنسبة للخمائر. كذلك يمكن لقسم من الفطريات أن تتكاثر جنسياً بتكوين سبورات جنسية مختلفة الأنواع حسب جنس الفطر. ويتركب غلاف الخلية الفطرية كيمياوياً من الكيتين أو الكيتوسان أو السيلليلوز.

الطرق المستعملة في عد فطريات التربة

طريقة العد بالأطباق **Plate counts** هي اكثر الطرق استعمالاً في عد فطريات التربة وعزلها وتعطي بين ٢٠,٠٠٠ الى حد مليون خلية تكاثرية لكل غرام تربة جافة. من الممكن أستعمال بيئة الأكار المغذي في تنميتها بشرط رفع

حموضة الوسط الى حوالي pH = 4 حيث لا يمكن للكثير من البكتريا والأكتينومايسيتات أن تنمو عند هذا الرقم. يفضل أستعمال بيئات أخرى متخصصة تحتوي على مضاد حيوي كالبنسلين أو الستربتومايسين وصبغة معينة كصبغة الـ **rose benga** لمنع نمو وانتشار البكتريا (بيئة مارتن). كذلك يمكن استعمال بيئات أخرى تحوي على نسبة عالية من الدكستروز مصدراً للكاربون والطاقة.

على الرغم من أن هذه الطريقة يستعملها الكثير من الباحثين حتى الآن ولكن هناك الكثير من الأنتقادات وجهت اليها. منها أنه من الصعب جداً معرفة ما إذا كانت المستعمرة نامية من سبور أو من جزء من مايسيليوم أو من مايسيليوم كامل.

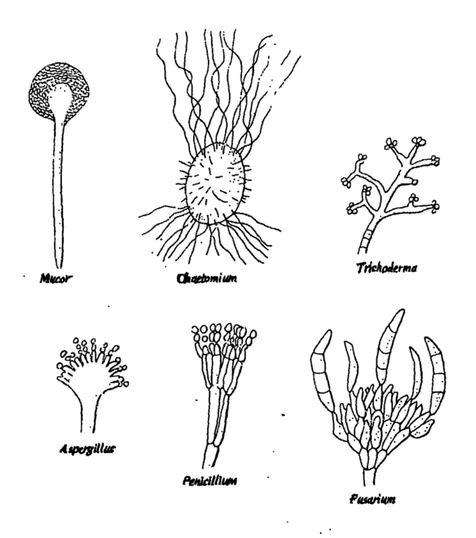
كذلك في أثناء عملية الرج في أثناء تحضير تخافيف التربة قد يتكسر المايسيليوم أو تتكسر كتلة الكونيديات المتجمعة مع بعضها وكل منها سوف ينمو الى مستعمرة جديدة. أضف الى ذلك عدم وجود وسط غذائي ملائم لتنمية الآلاف من أنواع الفطريات الموجودة في التربة.

من الممكن أستعمال طريقة روزي وكولودني للشرائح الزجاجية المدفونة كطريقة وصفية لدراسة طبيعة العلاقة الموجودة بين الفطريات والاحياء الأخرى

أستعملت حديثاً طرق مجهرية مختلفة لقياس أطوال الهيفات الموجودة في عينه من التربة ومنها يمكن قياس الكتلة الحيوية للفطريات في طبقات التربة المختلفة. تقديرات من هذا النوع تعطي أرقاماً تتراوح بين ١٠ ــ ١٠٠ م لكل غرام تربة وأحياناً تصل الى ٥٠٠ م. عند فرض أن قطر الهيفا حوالي ٥ ميكرون والوزن النوعي لها ١,٢ ووجود ١٠ ــ ١٠٠ م لكل غرام تربة نحصل على وزن فطريات يتراوح بين ٥٠٠ ــ ٥٠٠٠ كغم / هكتار من التربة. من هذه الأرقام نستنتج أن الفطريات تتغلب على البكتريا من حيث الكتلة الحية ولكن نلاحظ العكس بالنسبة لأعدادها في التربة.

لعزل أجناس الفطريات المتغلبة ودراستها في تربة ما يجب اللجوء الى الأوساط الغذائية المنتخبة وذلك بتوفير مصدر الكاربون والطاقة والظروف الخاصة بتنمية

كل جنس من أجناس الفطريات. معظم الفطريات التي عزلت ودرست بهذه الطريقة تقع ضمن الفطريات الناقصة وفطريات الزايكومايسيتس **Zygomycetes** التي سوف يتم شرحها لاحقاً شكل (٣) بعض الأجناس الفطرية مثل ***Endogen***



شكل (٢) بعض الاجناس الشائعة لفطريات التربة .

والذي يعرف حالياً باسم **Glomus** لا يمكن تنميته على الأوساط الغذائية الصناعية لأنه من الفطريات المتطفلة المفيدة . بالأمكان عزل المايسيليوم والكلامايدوسبورات التي يكونها هذا الفطر مباشرة من التربة بطرق مختلفة كطريقة الغربلة الرطبة **wet sieving** ويمكن تكثيرها بعد ذلك على نبات عائل متخصص .

العوامل التي تؤثر في وجود فطريات التربة

١ ـ المادة العضوية

تصنف الفطريات بالنسبة لمصدر الكاربون والطاقة ضمن قسم عضوية التغذية **chemoheterotrophs** ولا يمكن لأشعة الشمس أو أكسدة المركبات المعدنية أن تزودها بمصدر الطاقة والكاربون اللازم لنموها. إضافة الأسمدة العضوية تزيد من أعداد الفطريات وخصوصاً الأجناس ***Trichoderma*** و ***Fusarium*** ، ***Penicillium*** ، ***Aspergiluus*** والجنس ***Mucor*** . إضافة هذه الأسمدة الى الترب الحامضية سوف يؤدي الى تغلب الفطريات على باقي الكائنات الحية الأخرى عند توفر الظروف الملائمة الأخرى وخصوصاً النتروجين الجاهز في حالة أحتواء السماد العضوي على كمية قليلة منه .

٢ ـ درجة تركيز أيون الهيدروجين pH

تتغلب الفطريات على البكتريا في الترب الحامضية ولكن هناك العديد من أنواع الفطريات التي تنمو في مدى واسع من الـ **pH** يمتد من الحامضي الى القاعدي وأنواع كثيرة يمكن أن تنمو عند رقم **pH** ٢ أو ٣ وقسم منها عند **pH** ٩ أو اكثر. كون الفطريات تسود في الترب الحامضية راجع الى قلة منافسة البكتريا لها على المواد الغذائية تحت هذه الظروف حيث أن الفطريات أقل حساسية للزيادة في تركيز ايون الهيدروجين من البكتريا مما يجعلها تشكل نسبة كبيرة من الأحياء الأخرى في الظروف الحامضية. تغيير **pH** التربة يمكن أن يكون له دور مهم في القضاء على الفطريات المرضية فمثلاً يكثر مسبب المرض الذي يصيب العائلة الباذنجانية ***Plasmodiophora brassicae*** في الترب الحامضية . إضافة كاربونات الكالسيوم $CaCo_3$ الى مثل هذه الترب يمكن أن يقضي على مسبب المرض بصورة نهائية والعكس صحيح بالنسبة لأنواع أخرى .

٣ ـ تأثير الأسمدة المعدنية

إن إضافة أملاح الأمونيوم يزيد من أعداد فطريات التربة لسببين أولهما ان النيتروجين عنصر ضروري لبناء الخلية وثانيهما هو أن اكسدة الأمونيوم تزيد من حموضة التربة وبالتالي توفر ظروفاً ملائمة لنمو الفطريات. إضافة الى عنصر

النتروجين تحتاج الفطريات الى جميع العناصر الغذائية الأخرى اللازمة لنمو أي كائن حي .

٤ ـ تأثير الرطوبة والتهوية

معظم الأعفان هوائية إجبارية تتركز في الطبقات العليا من التربة . والرطوبة العالية تقلل التهوية وبالتالي توقف نمو الأجزاء الخضرية من العفن . أضف إلى ذلك يكون نشاط الفطريات في تحليل الأسمدة العضوية تحت هذه الظروف قليل جداً لدرجة يمكن أهماله كما أن قلة الرطوبة أو الجفاف له التأثير نفسه . تحت الظروف القاسية من زيادة الرطوبة أو نقصانها تقوم الفطريات بتكوين كمية كبيرة من السبورات الجنسية واللاجنسية للمحافظة على بقائها . ففطر البينيسليوم ***Penicillium*** والـ ***Aspergillus*** وغيرها من الفطريات الناقصة تكون أعداداً كبيرة جداً من الكونيديات التي تبقى حية مدة طويلة جداً الى حين ملائمة الظروف أما الفطر ***Mucor*** و ***Rhizopus*** فتكون أعداد كبيرة من السبورانجيوسبورات . قسم من الفطريات وتحت الظروف القاسية تقوم بتجميع هايفاتها لتكون تراكيب سميكة الجدران تسمى **sclerotia** كما في الأجناس **Botrytis** ، ***Verticillium , Sclerotium , Rhizoctonia*** . قسم من الفطـــريات تكـــون كلامايدوسبورات **Chlamydospores** التي هي عبارة عن سبورات لا جنسية سميكة الجدران . كما في الأجناس **Fusarium** ، ***Phytophthora*** ، ***Thielaviopsis*** . قسم من الفطريات تكون رايزومورفات **rizomorphs** كما في الجنس ***Rhizoctonia*** . اضافة الى ذلك تكون الكثير من الأجناس الفطرية أعداداً كبيرة من السبورات الجنسية .

٥ ـ درجة الحرارة

معظم الفطريات من الأنواع تلائمها درجات الحرارة ا **mesophiles**
وهناك بعض الأجناس تلائمها درجات الحرارة العالية **Thermophiles** التي يمكن أن تعيش في المواد العضوية المتخمرة **Composts** التي قد ترتفع درجة حرارتها حتى ٥٥° م . منها بعض الأنواع التابعة للأجناس : ***Aspergillus*** ، ***Mucor , Humicola, Chaetomium*** . إن الأطباق التي تحضن في درجة ٦° م يمكن أن تنمو عليها بعض الأنواع التابعة للأجناس : ***Cylindrocarpon*** .

Cladosporium , *Penicillium* *Mucor* . وهذه الأنواع يمكن أن تزداد أعدادها أيضاً كلما تعمقنا داخل مقد التربة .

٦ ـ العمق داخل قطاع التربة

تتركز الفطريات بصورة عامة قريباً من سطح التربة وربما توجد أعداد كبيرة منها في الأفق الثاني من قطاع التربة (طبقة B) لحقول الحشائش (جدول ٤) . وسبب ذلك قد يرجع الى تكيف بعض الأنواع لظروف قلة الأوكسجين وزيادة كمية غاز ثاني أوكسيد الكاربون كلما تعمقنا في التربة . تقسم الأجناس الفطرية بالنسبة لتأثير CO_2 عليها على ثلاثة أقسام هي :

أولاً : الفطريات الموجودة في جميع طبقات التربة (لا يؤثر تركيز CO_2 فيها) .

ثانياً : الفطريات التي توجد في الطبقات السطحية من التربة (حساسة لتركيز CO_2)

ثالثاً : الفطريات التي لاتوجد قريبة من سطح التربة وتزداد كلما تعمقنا في التربة (غير حساسة لتركيز CO_2) .
ان وجود بعض الاجناس الفطرية بعيداً عن سطح التربة قد يفسر بتحور هذه الاجناس الى بعض الأشكال الساكنة التي سبق ذكرها .

٧ ـ تأثير فصل السنة .

الجدول (٤) يوضح أيضاً التغير في أعداد الفطريات حسب أشهر السنة . وكما ذكرنا في موضوع البكتريا يزداد عدد فطريات التربة في فصلي الربيع والخريف ويقل في فصلي الشتاء والصيف .

جدول (٤) توزيع الفطريات في طبقات تربتين من الترب الكندية (الكسندر١٩٧٧)

العمق سم	الطبقة	عدد الفطريات لكل غرام تربة جافة مضروباً ×١٠^٣ مايس	حزيران	تموز	آب	أيلول
		تربة محروثة				
صفر ـ ٧	A	٣٥	٦	١٠	١٥	٢٢
٧ ـ ١٤	A	٣٠	٦	٦	٤	٥
١٤ ـ ٢٨	A	٣	٢	٣	٣	٦
٣٣ ـ ٥٢	A	٢	٢	١	٥	٥
٥٢ ـ ٦٨	B	١	٦	صفر	٣	٥
٦٨ ـ ٨٤	B	صتر	صفر	١	٢	٥
		تربة حشائش				
صفر ـ ٧	A	١٩	١٥	٣٨	٤٤	٧
٧ ـ ١٤	A	١٢	٧	١٣	١٠	٤
١٤ ـ ٢٨	A	١٣	٤	٥	٥	٤
٣٣ ـ ٥٢	A	٦	١٩	٧	١٩	٢١
٥٢ ـ ٦٨	B	٤	١٨	١٧	١٢	٢٥
٦٨ ـ ٨٤	B	٩	١٨	٣٧	٢١	١٤

٨ ـ تأثير العمليات الزراعية .

ان اية عملية زراعية تزيد من تهوية التربة وتوفر غذاءاً سوف تزيد من أعداد الفطريات . كذلك قسم من الفطريات تتأثر بنوع المحصول المزروع فمثلاً وجد أن الحقول المزروعة الشوفان تحوي أعداداً كبرى من الفطريات مقارنة بالحقول المزروعة بالذرة أو الحنطة بصورة مستمرة . كذلك وجد تغلب الفطر

في حقول الشوفان أما في حقول الذرة فقد لوحظ تغلب *Aspergillus fumigatus* الفطر *Penicillium funiculosum* .

وسبب ذلك يعود الى أفرازات معينة من جذور بعض النباتات التي تشجع نمو أنواع معينة دون الأنواع الأخرى

تصنيف فطريات التربة

تصنف الفطريات ضمن القسم **Mycota** من المملكة النباتية وقد تصنف أحياناً ضمن مملكة البروتستا . يضم هذا القسم أثنين من تحت القسم **Eumycotina** (الفطريات الحقيقية) و **Myxomycotina** (الفطريات اللزجة) . تقسم الفطريات الحقيقية (الأعفان والخمائر) الى (٨) ثمانية صفوف **classes** 8 .وطريقة التكاثر ونوع السبور الجنسي هما الأساس في التمييز بين هذه الصفوف .

١ ـ الفطريات الناقصة **Deuteromycetes** أو **Hyphomycetes**

تتميز الاجناس التابعة لهذا الصف في أنها تتكاثر لاجنسياً فقط بتكوين الكونيديات المحمولة على حامل الكونيديات **Conidiophore** ويكون مايسيليوم الأجناس التابعة لهذا الصف مقسماً . معظم الفطريات الموجودة في التربة والتي تنمو في بيئة مارتن تابعة لهذا الصف منها :

Penicillium , Aspergillus , Alternaria, Botrytis Botryotrichum, Cladosporium, Culvularia, Fusarium Cylindrocarpon, Epicoccum, Geotrichum, Gliocladium Graphium, Helminthosporium, Humicola, Monilia Rhizoctonia, Trichoderma, Verticillium, Trichothecium

٢ ـ الزايكومايسيتات **Zygomycetes**

تتميز الاجناس التابعة لهذا الصف في انها تتكاثر لاجنسياً بتكوين السبورانجيوسبورات الموجودة داخل سبورانجيوم والمحمولة على حامل السبورانجيوم **Sporangiophore** وتتكاثر جنسياً بتكوين سبورات جنسية تسمى السبورات

الزيجية **Zygospores** الناتجة من أتحاد أثنين من الهيفات أحدهما ذكري والآخر انثوي (+ و−) . من الامثلة عليها *Mucor, Rhizopus , Mortierella, Cunninghamella*

٣ ـ الأوومايسيتات **Oomycetes** أو الفطريات البيضية :

وتتميز الأجناس التابعة لها في أنها تتكاثر بتكوين سبورات لاجنسية تسمى **Zoospores** كل منها يتحرك بأثنين من الأسواط وتتكاثر جنسياً بتكوين سبورات جنسية تسمى السبورات البيضية **Oospores** الناتجة من اتحاد الانثريديوم الذكري مع الاووكونيوم الانثوي . ومن الامثلة عليها *Peronospora, Pythium* *Phytophthora* ، *Aphanomyces* .

٤ ـ الكتريديوما يسيتات **Chytridiomycetes**

تشابه سابقتها عدا تحرك الزووسبورات بوساطة سوط واحد فقط مثل *Chytridium, Chytriomyces , Rhizophidium , Olpidium*

٥ ـ الفطريات الباسيدية **Hymenomycetes** أو **Basidiomycetes**

تتميز الأجناس التابعة لها في أنها تتكاثر لا جنسياً بتكوين الكونيديات وجنسياً بتكوين سبورات جنسية تسمى **basidiospores** كل أربعة منها تكون محمولة على تراكيب متخصصة تسمى باسيديوم **basidium** مثل *Marasmius* *Glomus , Agaricus , Pistillaria, Puccinia,*

٦ ـ الفطريات الكيسية . **Pyrenomycetes** أو **Ascomycetes**

وهذه يمكن تقسيمها على قسمين . الأول يشمل الفطريات الكيسية الحقيقية **Euascomycetidae** التي تتكاثر لا جنسياً بالكونيديات وجنسياً بتكوين سبورات كيسية لـ **ascospores** كل ثمانية منها داخل كيس يسمى **ascus** . وتتميز في أن الأكياس السبورية تكون داخل تراكيب متخصصة تسمى **ascocarps** مثل ، *Chaetomium , Sordaria* *Neurospora, Thielavia* . القسم الثاني يشمل

الفطريات الكيسية الشبيهة Hemiascomycetidae أو الخمائر yeasts التي تتكاثر لاجنسياً بالتبرعم أو الانقسام وجنسياً بتكوين الأكياس السبورية التي لا تكون داخل تراكيب الـ ascocarps . مثل *Candida, Hansenula, Torula* و *Saccharomyces, Torulopsis, Sporobolomyces* .

الأعفان اللزجة Slime Molds او الـ Myxomycetes

تقع هذه الأعفان ضمن الحيز الذي يقع تحت القسم الثاني Myxomycotina وتسمى أحياناً ألاعفان الخليطة . تشمل كائنات حية رمية التغذية Saprophyte لها طوران من الحياة . الأول عبارة عن خلايا أميبية عديمة الجدران تتغذى بنفس طريقة تغذية الأميبا . وعندما يقل المصدر الغذائي تمر بالطور الثاني الذي تتجمع فيه الخلايا الاميبية لتكوين تراكيب شبيهة بالسبورانجيوم تسمى Pseudoplasmodium الذي يحوي بداخله على خلايا شبيهة بالسبورانجيوسبورات . ومن الامثلة عليها *Dictyostelium, Acrasis* و *Acytostelium* . تعيش هذه الفطريات على سطوح الترب الرطبة أو المسطحات الخضراء أو على أشجار الغابات أو أي مكان تتوفر فيه المواد العضوية المتحللة .

٤ ـ مجموعة طحالب التربة Soil Algae

الطحالب : تعريفها ووجودها :

تشكل الطحالب أكثر الأحياء المجهرية التي تقوم بعملية التركيب الضوئي تغلباً في التربة . وأعدادها أقل من أعداد البكتريا أو الاكتينو مايسيتات أو الفطريات . وتوجد كذلك على سطوح مياه الأنهار والبحار ولكن هناك أنواع كثيرة لا توجد إلا في التربة ومنها الأجناس *Oedogonium* ، *Botrydium* ، *Chlorococcum* *Zygnema* ، *Microcoleus* . هناك أجناس أخرى توجد في التربة والمياه منها *Protococcus, Oscillatoria, Nostoc, Anabaena* ، *Stichococcus* . توجد الطحالب دائماً قريبة من سطح التربة لأنها تقوم بعملية التركيب الضوئي فهي تأخذ CO_2 من الجو والعناصر المعدنية مثل النتروجين ، والفوسفور ، والبوتاسيوم ، والمغنيسيوم ، والكبريت ، والحديد من التربة . تصنف بالنسبة لمصدر الكاربون والطاقة ضمن ذاتية التغذية الضوئية ،

غير أن هناك بعض الحالات الشاذة حيث وجد الكثير من Photoautotrophs الباحثين طحالب بعيدة عن سطح التربة وحتى على عمق ١ م في ظلام تام . ووجود هذا النوع من الطحالب داخل هذا العمق من التربة ما زال موضع نقاش حيث أن قسماً من الباحثين يؤكد أنها ضمن الطحالب الأختيارية بالنسبة لمصدر الكاربون والطاقة ذاتية التغذية الضوئية اختياراً facultative photoautotrophs أي يمكنها عند عدم توفر ضوء الشمس و CO_2 أن تعيش على المادة العضوية كالفطريات والبكتريا القسم الآخر من العلماء يؤكد أنها أنتقلت من سطح التربة مع ماء الري أو بوساطة الحشرات أو في اثناء العمليات الزراعية الى أعماق التربة وأنها توجد بحالة سكون تام لعدم امكانها منافسة الأحياء الأخرى على الغذاء . عند نقل مثل هذه الطحالب الى سطح التربة تتكاثر وتنمو بصورة طبيعية . لم تحظ طحالب التربة بدراسات مستفيضة من علماء الأحياء المجهرية كما حظيت البكتريا والفطريات والكثير منهم يَعدّ أهميتها في التربة قليلة ولكن الكثير من الدراسات الحديثة ركزت على دور بعض أجناس الطحالب في تثبيت النتروجين وتلك التي تشارك في تكوين مركبات عضوية مختلفة مهمة في تكوين دبال التربة .

الطرق المستعملة في عد طحالب التربة

لأجراء عملية عد طحالب التربة وعزلها يتبع بصورة رئيسة طريقة العد الأكثر أحتمالاً وذلك بتحضير تخافيف التربة في الماء المعقم (أعتيادياً 10^{-3} ، 10^{-4} ، 10^{-5}) ثم تلقيح أنابيب حاوية على الوسط الغذائي المعدني الخاص بالطحالب (خمسة مكررات لكل تخفيف) بشرط أن تكون التخافيف متسلسلة . تحضن الأنابيب الملقحة في درجة حرارية ملائمة قريباً من مصدر ضوئي مدة ٤ ــ ٦ أسابيع . بعد ذلك يتم حساب عدد الأنابيب الموجبة (ذات اللون الأخضر) من كل تخفيف ، ثم بأستعمال جداول أحصائية خاصة يمكن حساب عدد الطحالب الحية لكل غرام تربة . الأعداد التي يمكن الحصول عليها بهذه الطريقة تتراوح بين ١٠٠ الى ٥٠,٠٠٠ خلية . يمكن أستعمال طريقة العد المباشر بالمجهر وذلك بأخذ حجم معين من تخفيف معين من التربة بالماء المعقم ووضعه على مساحة محددة من شريحة زجاجية وبعد تجفيفه يتم حساب عدد الطحالب الموجودة في عدد من المجالات المجهرية كما في البكتريا .

من الصعب الأعتماد على طرق العد السابقة الذكر لأن قسماً من طحالب التربة خيطية وتعطي عدداً قليلاً والقسم الآخر وحيدة الخلية وقسم ثالث تعيش على شكل مستعمرات وتعطي اعداداً كبيرة من الخلايا الحية . ويمكن حساب الكتلة الحية للطحالب وذلك بتحويل العدد الى وزن أو باستخلاص الكلوروفيل من التربة بأستعمال مذيبات عضوية خاصة ثم تقدير كمية الصبغة بطرق تحليل متخصصة . هذه القياسات أعطت نتائج تتراوح بين ٧ ـ ٣٠ كغم طحالب / هكتار وقد حصل بعض الباحثين الى حد ٥٠٠ كغم أو حتى ١٥٠٠ كغم / هكتار .

العوامل التي تؤثر في وجود طحالب التربة

ان جميع العوامل التي درست وهي التي تؤثر في البكتريا والفطريات يمكنها ايضاً أن تؤثر في الطحالب . فالمادة العضوية لها تأثير غير مباشر لكون تحللها في التربة يعطي غاز ثاني أوكسيد الكاربون الذي تستعمله الطحالب في عملية التركيب الضوئي ولكون قسم من الطحالب يحتمل أن تعيش على المادة العضوية مصدراً للكاربون والطاقة . كما أن توفر العناصر المعدنية في التربة ضروري جداً لنمو طحالب التربة وتكاثرها . والصوديوم والكوبلت ضروري لبعض الأنواع والسلكون ضروري لتكاثر الدايأتومات **diatoms** . والدايأتومات اكثر الطحالب تأثراً في جفاف التربة موازنة بالخضراء أو الخضراء المزرقة التي يمكن أن تبقى ساكنة حتى ١٠ سنوات . **pH** التربة له تأثير في الأقسام المختلفة من الطحالب ولكل قسم **pH** ملائم له سوف يذكر بشيء من التفصيل في موضوع التصنيف . المبيدات تؤثر بصورة مباشرة في الحشائش والادغال ولكنها يمكن ان تؤثر بصورة غير مباشرة في طحالب التربة لأنها نباتات خضراء أيضاً . للأحياء الأخرى تأثيرات سلبية أو أيجابية في طحالب التربة ففي المزارع السائلة أو البحيرات يمكن أن تتكاثر الطحالب بسرعة بوجود البكتريا والابتدائيات لأن الأخيرة تحتاج الى مصدر عضوي للتكاثر وفي أثناء استعمالها وتحليلها لهذا المصدر العضوي سوف يتحرر غاز CO_2 الضروري لتكاثر الطحالب . أما التأثيرات السلبية فهو أن بعض البكتريا (والاكتينومايسيتات) والفطريات يحتمل أن تفرز أنزيمات تقضي على خلايا الطحالب وبالتالي تحليلها . تحلل الطحالب الميتة يجهز عناصر معدنية مختلفة للنباتات والأحياء الأخرى . بهذه الطريقة يمكن أن تساهم الطحالب في زيادة خصوبة التربة . إضافة الى ذلك تتغذى كل من البروتوزوات والنيماتودات وديدان

الأرض على بعض الأجناس من الطحالب وأية مادة تقضي على هذه الحيوانات يمكنها أن تؤدي بصورة غير مباشرة في زيادة الطحالب في التربة . كما أن عملية ضخ كميات من غاز CO_2 في المزارع السائلة الخاصة بتكثير الطحالب يمكن أن يزيد من أعدادها أيضاً .

تصنيف طحالب التربة

تصنف الطحالب ضمن المملكة النباتية أو البروتستا . تضم طحالب التربة الأقسام الآتية :

١ ـ الطحالب الخضراء **chlorophycophyta** او **Chlorophyta**

إن معظم الطحالب الخضراء الموجودة في التربة وحيدة الخلية ولكن هناك القليل منها خيطية . صبغة الكلوروفيل والكاروتين والزانثوفيل تكون موجودة داخل تراكيب متخصصة تسمى الكلوروبلاست ، خليتها من نوع حقيقية النواة **Eukaryote** . تتغلب على بقية الطحالب في الترب الحامضية . وتتكاثر بتكوين السبورات المتحركة أو الأنقسام وأحياناً بالتكاثر الجنسي . ومن الأمثلة عليها :
Protococcus ، ***Chlorococcum*** ، ***Dactylococcus*** ، ***Chlamydomonas*** ،
Scenedesmus ، ***Stichococcus*** ، ***Ulothrix*** ، ***Chlorella*** ،
Hormidium .

٢ ـ الطحالب البنية الذهبية **Chrysophycophyta** او **Bacillariophyta**

وهذه تضم جزءاً مهماً جداً من طحالب التربة وهي الدايأتومات **diatoms** قسم منها وحيدة الخلية وقسم تعيش بشكل مستعمرات وقسم خيطية . جميعها حقيقية النواة **Eukaryote** . تكون خلية الدايأتومات محاطة بغلاف سميك من السلكا .

سميت بالبنية الذهبية لتغلب صبغة بنية الشكل تسمى **(Fucoxanthin)** إضافة الى صبغة الكلوروفيل . تكون الدايأتومات حساسة جداً لحموضة التربة وتلائمها بصورة عامة الترب المتعادلة أو القاعدية . من الأجناس الموجودة في التربة : ***Achnanthes*** ، **cymbella** ، ***Fragilaria*** ، ***Navicula*** ،
Pinnularia ، ***Surirella*** ، **Synedra** .

٣ ـ الطحالب الخضراء المزرقة Cyanophycophyta أو Cyanophyta Cyano

تصنف الطحالب الخضراء المزرقة حالياً ضمن البكتريا وذلك لأن خليتها من نوع بدائية النواة Prokaryote . قد يكون قسم منها وحيدة الخلية والقسم الأخر خيطية . تحوي على صبغات متخصصة هي الـ Phycocyanin وصبغة الـ Phycoerythrin اضافة الى صبغة الكلورفيل وصبغة الكاروتينويد التي تكون سائبة داخل السايتوبلازم . تفضل الطحالب الخضراء المزرقة الترب المتعادلة الى القاعدية وهي حساسة لحموضة التربة لدرجة قلة عددها أو انعدامها عند pH أقل من ٥,٢ . تتكاثر بصورة رئيسية بالانقسام أو التجزؤ . ومن الأمثلة عليها ، *Cylindrospermum*

Anabaena *Microcoleus*، *Lyngbia* ،*Chroococcus* ، *Calothrix* و *Phormidium*
Oscillatoria *Nostoc* ، *Nodularia* *Tolypothrix*

معظم الطحالب الخضراء المزرقة في داخلها تراكيب كيسية تسمى الاكياس المتغيرة **heterocysts** تتم فيها عملية تثبيت النتروجين الجوي بصورة حرة . وهذه الوظيفة تعد أهم الوظائف التي تقوم بها طحالب التربة الخضراء المزرقة .

٤ ـ الطحالب الخضراء المصفرة Euglenophycophyta Xanthophyta

هذه الطحالب وحيدة الخلية متحركة بوساطة سوط واحد أو مجموعة من الأسواط . ومن اكثر الأجناس المعروفة الجنس *Euglena* وعلى الرغم من أحتوائه على صبغة الكلورفيل لتصنيفه ضمن الطحالب الا أنه يشابه الابتدائيات التي لاتحتوي على الكلورفيل . لذلك تصنف اليوغلينا من علماء النبات ضمن المملكة النباتية ومن علماء الحيوان ضمن المملكة الحيوانية . هناك بعض الاجناس الأخرى من هذه الطحالب التي يمكن أن توجد في بعض الترب منها *Botrydiopsis*

Heterococcus ، *Heterothrix* ، *Bumilleria* ، *Bumilleriopsis* .

الاشنات Lichens :

الأشنات عبارة عن كائنات حية تتكون من تجمع فطر وطحلب . الجزء الطحلبي يعود الى أحد اجناس الطحالب الخضراء أو الخضراء المزرقة ويمكنها أن تعيش بصورة مستقلة وحدها . أما الجزء الفطري فأنه يعود الى أحد أجناس

الفطريات الكيسية أو الباسيدية ولا يمكن أن يعيش مستقلاً وحده والاثنان مع بعضهما يعيشان بصورة تكافلية وفق نظام غريب وعجيب اذ يقوم الطحلب (الجزء العلوي) بتكوين الكاربوهيدرات بعملية التركيب الضوئي لكي يوفرها للفطر (الجزء السفلي) الذي تمتد هايفاته الى اسفل التربة لكي يقوم بتزويد الطحلب بالعناصر الغذائية الضرورية التي يحصل عليها من تحليل المركبات العضوية الموجودة في التربة . توجد الأشنات على سطح التربة ويكون نموها بطيئاً جدا وتكون أنسجة جيلاتينية قوية حول الخلية بحيث تسمح بتشرب الخلية بالماء والأحتفاظ به مدة طويلة لمقاومة الظروف القاسية .

٥ ـ مجموعة فايروسات التربة Soil Viruses

الفيروس : تعريفة : ووجوده :

درسنا في المواضيع السابقة الأحياء المجهرية من بكتريا وفطريات وطحالب التي يمكننا رؤيتها جميعاً بأستعمال المجهر الضوئي المركب بعد تكبيرها بحدود مئة أو ألف مرة . وفي هذا الموضوع سنتناول الفيروسات التي بلغت من الصغر حجماً لا يمكن معه رؤيتها الا بأستعمال المجهر الألكتروني الذي يكبر عشرات أو مئات الألوف من المرات . الفيروس أو جزيئة الفيروس عبارة عن طفيليات أجبارية داخلية (تصنف مواد كيمياوية من بعض العلماء) لا يتجاوز قطر الكبيرة منها على ٠,٣ ميكرون والصغيرة منها حوالي ٠,٠٥ ميكرون. تتكون من حامض نووي واحد (DNA أو RNA) محاطة بطبقة بروتينية تسمى **capside** تتكون من وحدات بروتينية تسمى **Capsosomers** وأحياناً تكون الطبقة البروتينية محاطة بغلاف يسمى **envelop** . تعتمد الفيروسات في نموها وتكاثرها على العائل الذي تصيبه كأن يكون نباتاً أو أنساناً أو حيواناً أو بكتريا أو فطراً أو طحلباً . بصورة عامة لا يحتوي الفيروس على أنزيمات لأنه يعتمد اعتماداً كلياً على الأنزيمات المنتجة من قبل النسيج الحي الذي يصيبه .

الفيروس الذي يهمنا في التربة هو مايسمى بالبكتريوفاج **bacteriophage** الذي يصيب الخلايا البكتيرية . لكل جنس من البكتريا بل لكل نوع بكتريوفاج خاص به والذي يصيب نوعاً معيناً من البكتريا او سلالة معينة لا يصيب النوع الاخر (جدول ٥) . يتركب البكتريوفاج من الرأس الذي يتراوح قطره بين

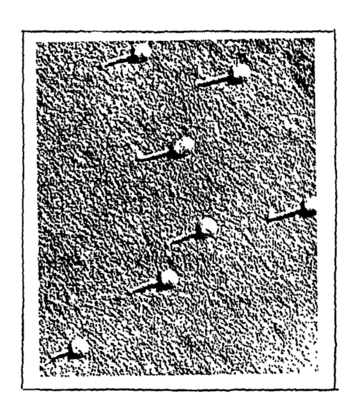
جدول (٥) تأثير البكتريوفاج في سلالات من بكتريا الازوتوباكتر (الكسندر ١٩٧٧)

سلالة البكتريوفاج				سلالة البكتريا
PBulg	P	P18	PCan	
				A. chroococcum
−	+	+	−	strain C12
−	+	+	+	strain C18
				A. vinelandii
+		+	−	strain V5
−		−	−	strain P3
				A. beijerinckii
±		+	−	strain B2–e

+ = يصيب السلالة ويؤدي الى موتها ، − = لا يصيب السلالة .

٥,ـ ٠,١٥ وذنب قد يصل طوله ٠,٢ ميكرون (شكل ٤) . في حالة اعتبار البكتريوفاج كائنات حية فان اعدادها في التربة اكثر من اعداد الكائنات الحية الاخرى اطلاقاً .

هناك نوعان من البكتريوفاج . النوع الأول يسمى **Lytic bacteriophage** الذي يدخل داخل الخلية البكتيرية ويؤدي الى موتها . فبعد دخول**DNA** الفيروس الى داخل خلية بكتيرية معينة (موضع الأتصال عن طريق الذنب) بمساعدة عنصر معدني ثنائي الشحنة الوجبة كالكالسيوم أو المغنيسيوم الذي يعمل كجسر يربط الشحنة السالبة للبكتريوفاج بالشحنة السالبة الموجودة في جدار خلية البكتريا يتوقف نشاط خلية البكتريا وفي الوقت نفسه يتوجه نشاطها الى انتاج وحدات **DNA** ووحدات كابسيد مشابهة لتركيب الفيروس .وبعد مدة من الزمن (ساعتان أو أقل أو اكثر) تموت الخلية البكتيرية وتخرج منها مئات الجزيئات الفيروسية لكي تصيب خلايا أخرى .



شكل (٤) يوضح البكتريوفاج من خلال المجهر الالكتروني .

اذا كانت هذه البكتريا نامية على سطح بيئة على الآكار المغذي فسوف تتكون مناطق خالية من النمو (بكتريا ميتة) تسمى **plaques** وكل منها يعد مزرعة نقية من البكتريوفاج الخاص بتلك البكتريا . اما اذا كانت البكتريا نامية في مزرعة سائلة فتحول المحلول من الصورة العكرة الى الصورة الرائقة دليل على نقصان اعداد البكتريا وزيادة اعداد جزيئات الفيروس .

النوع الثاني من البكتريوفاج يسمى **Lysogenic bacteriophage** وهذا النوع لا يقضي على الخلية البكتيرية في المراحل الاولى من دخوله وأنما تبقى الخلايا البكتيرية حاملة الفيروس بداخلها وتنقله الى الاجيال الاخرى مع خروج جزيئات من الفيروس بين فترة وأخرى من دون تحلل الخلية البكتيرية ويسمى هذا النوع من البكتريوفاج ايضا باسم البكتريوفاج المؤقت **temperate** وتسمى هذه الظاهرة باسم **Lysogenicity** والخلية البكتيرية الحاملة للفيروس تسمى البكتريا المحللة

Lysogenic bacteria . يرافق هذه الحالة ظاهرة وراثية تسمى التأبير (الانتقال) **Transduction** اذ ينقل البكتريوفاج جزءاً من المادة الوراثية من خلية بكتيرية الى

اخرى لسلالة من نفس النوع وبالتالي تنتقل للاخيرة صفات وراثية جديدة . قد يحدث ذلك بين الاجناس المتقاربة أيضاً .

الفيروسات يمكن أن تصيب أيضاً خلايا الاكتينوما يسيتات وتسمى في هذه الحالة **Actinophage** أو الطحالب خصوصاً الخضراء المزرقة وتسمى في هذه الحالة **Cyanophage** وكذلك الابتدائيات . كذلك تم اكتشاف فيروس يصيب كل جنس من اجناس الفطريات فمثلاً وجد فيروس يصيب الـ ***Cephalosporium*** ، ***Aspergillus*** ، ***Mucor*** ، ***Fusarium*** ، ***Gliocladium*** ... الخ . وهذه الفيروسات تختلف عن البكتريوفاج من حيث الشكل الخارجي إذ انها لا تحتوي على التركيب الشبيه بالذنب عدا الفيروسات التي تصيب الطحالب الخضراء المزرقة فتكون شبيهة بالبكتريوفاج من حيث الشكل وطريقة الاصابة . وهناك ايضا فيروس متخصص لكل جنس من اجناسها . فقد اكتشف فيروس يصيب الاجناس : ***Anabaena*** ، ***Nostoc*** ، ***Cylindrospermum*** ، ***Oscillatoria*** ، ***Phormidium*** ... الخ .

وتعد التربة مأوى كثير من الفيروسات التي تسبب أمراض للنبات كمرض موزائيك التبغ أو الحنطة أو الشوفان حيث يبقى الفيروس في التربة بصورة غير نشطة الى حين زراعة النبات العائل . وقد ينقل بوساطة الديدان الخيطية أو الفطريات أو الحشرات من تربة الى أخرى .

الفيروس الذي يسبب مرض التهاب الكبد للانسان **hepatitis** من الممكن ان ينتقل عن طريق التربة الى الماء الارضي ثم الى الآبار أو مياه الانهار التي تستعمل للشرب . لقد وجد حديثاً ان بامكان التربة أن تمنع مرور الفيروس الى الماء الارضي إما بادمصاصه الى أجزائها المختلفة أو بعملية بيولوجية لافقاد حيويته **Biological inactivation** . فحبيبات الطين والمادة العضوية وبقايا النباتات العضوية لها القابلية على ادمصاص الفيروس إما عن طريق الاختلاف في الشحنات الكهربائية أو عن طريق قوى اخرى غير معروفة .

الطرق المستعملة في عد بكتريوفاج التربة :

لاجراء عملية عد لبكتريوفاج التربة نقوم بعمل تخافيف من التربة بالماء المعقم ($١٠^{-٥}$ ، $١٠^{-٦}$ ، $١٠^{-٧}$ مثلاً) ثم توزيع حجم معين من كل منها على سطح الوسط الغذائي في طبق بتري نامية عليه خلايا بكتيرية ثم التحضين مدة ٤٨ ساعة

أو اكثر في ظروف ملائمة . بعدها تجري عملية عد للمناطق الخالية من النمو (plaques) وتحويل العدد الى غرام من التربة على فرض ان كل منها قد نشأت من جزيئة فيروس واحدة . لاجل دراسة وجود بكتريوفاج متخصصة لجنس معين من البكتريا في تربة ما نقوم بتحضين قليل من التربة مع مزرعة بكتيرية سائلة من الجنس المراد دراسته مدة ٢٤ ــ ٤٨ ساعة وذلك لكي نسمح للبكتريوفاج بالتكاثر على حساب البكتريا . بعدها نضيف كمية قليلة من المحلول الرائق الى وسطاً سائلاً آخر يحوي على البكتريا نفسها . وبعد التحضين مدة ٢٤ ــ ٤٨ ساعة يرشح الوسط باستعمال مرشحات دقيقة تسمح بمرور البكتريوفاج ولا تسمح بمرور الخلايا البكتيرية . وتتم دراسة تأثيره في مزرعة جديدة صلبة وعزل مزارع نقية من البكتريوفاج الخاص بذلك الجنس من البكتريا . بهذه الطريقة تم عزل بكتريوفاج خاص لكل من الاجناس البكتيرية التالية : ***Bacillus*** و ***Azotobacter*** ، ***Agrobacterium*** ، ***Arthrobacter*** ، ***Bdellovibrio*** ، ***Rhizobium*** ، ***Clostridium*** ***Xanthomonas*** ***Pseudomonas*** ، ***Mycobacterium***.

تؤثر البكتريوفاج تأثيراً سلبياً في بعض البكتريا الاقتصادية مثل ***Rhizobium*** فقد تم عزل بكتريوفاج يصيب تقريباً جميع الانواع التابعة لهذا الجنس . من المحتمل ان عدد العقد الجذرية يقل لدرجة تأثيره في الحاصل يكون شديداً جداً .

٦ ــ مجموعة ابتدائيات التربة Soil Protozoa

الابتدائيات : تعريفها ووجودها :

الابتدائيات احياء وحيدة الخلية يتراوح طولها بين عدة ميكرومترات الى سنتمتر واحد (جميع ابتدائيات التربة تكون مجهرية) . خليتها من نوع حقيقية النواة (Eukaryote) وتصنف ضمن المملكة الحيوانية أو ضمن مملكة البروتستا . متغايرة التغذية الكيميائية **Chemoheterotrophs** عدا بعض الاجناس الانتقالية التي تحتوي على كلوروفيل وهي التي تصنف أحياناً ضمن الابتدائيات وأحياناً اخرى ضمن الطحالب . تتكاثر لاجنسياً بالانقسام وقسم تتكاثر جنسياً . تتغذى معتمدة على المواد العضوية واللاعضوية الذائبة **(Saprobic)** أو معتمدة على الخلايا البكتيرية ، بعملية التغذية **(phagotrophic)** . والاخيرة هي الغذاء الرئيس لها وخصوصاً الاجناس ، ***Bacillus*** ، ***Micrococcus*** ، ***Escherichia*** ،

Aerobacter ، *Agrobacterium* . عند عدم ملائمة الظروف تتكيس وتبقى في هذه الحالة عدة سنوات . الا بتدائيات أبسط حيوانات التربة واكثرها تغلباً وأحياناً يدرسها علماء الحيوان وأحياناً يدرسها علماء الاحياء المجهرية لانها كما قلنا تصنف ضمن مملكة البروتستا .

الطرق المستعملة في عد ابتدائيات التربة :

لاجراء عملية عد ابتدائيات التربة وعزلها يتبع طريقة العد الاكثر أحتمالاً المستعملة في عد طحالب وبعض أجناس بكتريا التربة مع بعض التحويرات وهي أستعال وسط غذائي سائل حاوٍ على أحد الأجناس البكتيرية السابقة الذكر . ويمكن تحديد الأنابيب الموجبة بالفحص المجهري لعينة من كل أنبوبة . أعدادها في التربة تتراوح بين ١٠,٠٠٠ ـ ١٠٠,٠٠٠ خلية لكل غرام تربة وقد يصل العدد الى حد ٣٠٠,٠٠٠ واحياناً ٥٠٠,٠٠٠ . العدد الذي نحصل عليه بهذه الطريقة يشمل الخلايا الخضرية والمتكيسة . لأجراء عملية عد الخلايا الخضرية فقط أو المتكيسة فقط تعامل عينة من التربة مع حامض HCl تركيز ٢ ٪ مدة ١٢ ساعة لنقضي على الخلايا الخضرية فتبقى المتكيسة وبعدها تجرى عملية عد لابتدائيات التربة قبل المعاملة وبعدها والفرق بين الأثنين يكون عدد الخلايا الخضرية فقط . بالرغم من أن اعدادها أقل من البكتريا ولكنها ككتلة حيوية يمكن أن تكون اكبر منها في بعض الترب . معظم ابتدائيات التربة تكون مشابهة لتلك التي تعيش في الماء ، إلا أنها كما ذكرنا أصغر منها وأكثر تكيفاً لتعيش في أغشية الماء الرفيعة حول حبيبات التربة .

تصنيف ابتدائيات التربة :

تصنف ابتدائيات التربة على أساس الأعضاء التي تتحرك بوساطتها وبناء على ذلك قسمت على أربعة مجاميع هي :

المجموعة الاولى : السوطيات Mastigophora أو Flagellates

تشمل هذه المجموعة الأجناس التي تتحرك بوساطة سوط واحد أو اكثر أحياناً تقسم على قسمين ، الأول Phytomastigophora ويشمل الأجناس التي تحتوي على صبغة الكلوروفيل التي تصنع غذاءها بنفسها (تصنف كما ذكرنا سابقاً ضمن

الطحالب في بعض الأحيان) . الثاني **Zoomastigophora** يشمل الأجناس التي لا تحوي على كلوروفيل فتتغذى تغذية عضوية .

أغلب أجناس ابتدائيات التربة تكون ضمن هذه المجموعة التي قد يتراوح عددها بين ٣,٠٠٠ ـ ٢٠٠,٠٠٠ خلية / غم تربة . من الأمثلة عليها الأجناس :
Tetramitus ، *Cercomonas* ، *Bodo* ، *Cercobodo* *Spiromonas* *Monas* ،
Oikomonas ، *Heteromita* ، *Spongomonas* .

المجموعة الثانية : الأميبيات Sarcodina

أجناس هذه المجموعة تتحرك بوساطة أفرازات بروتوبلازمية مؤقتة من جسم الخلية تسمى ألاقدام الكاذبة **Pseudopodia** . وبسبب عدم وجود غلاف قوي للخلية يتغير شكلها عند حركة الحيوان الى الأمام أو الى الخلف . بهذه الطريقة تختلف هذه المجموعة عن السابقة أو عن الهدبيات التي تحوي على أعضاء حركة ثابتة ودائمية . أعدادها في التربة قد تكون مشابهة للسوطيات.ومن الأمثلة عليها جناس : *Nuclearia* ، *Amoeba* ، *Acanthamoeba* ، *Hartmanella* ،
Biomyxa ، *Euglypha* ، *Trinema* ، *Naegleria* .

المجموعة الثالثة : الهدبيات Ciliophora أو Ciliates :

تتحرك الأجناس التابعة لهذه المجموعة بوساطة شعيرات قصيرة كثيرة العدد تسمى ألاهداب (cilia) . أعدادها في التربة أقل من ١٠٠٠ خلية / غم ومن الأمثلة عليها الأجناس : *Paramecium* ، *Balantiophorus* ، *Colpoda* ،
Colpidium ، *Gastrostyla* ، *Halteria* ، *Oxytricha* ، *Vorticella* .

المجموعة الرابعة : الابتدائيات الطفيلية Sporozoa

تشمل الأجناس الطفيلية التي لا تحتوي على أي نوع من أعضاء الحركة (غير متحركة) .

العوامل التي تؤثر في ابتدائيات التربة :

إضافة المخلفات العضوية تؤثر بصورة مباشرة أو غير مباشرة في أعداد ابتدائيات التربة . حيث أن قسماً منها يتغذى على المادة العضوية مباشرة والقسم الآخر يتغذى على البكتريا التي بدورها تنمو وتتكاثر على حساب المادة العضوية . الرطوبة مهمة للقيام بالعمليات الحيوية ولحركة الابتدائيات داخل التربة. معظمها هوائية اجبارية ويمكن وجود الابتدائيات في مجالات واسعة من الـ pH حتى أن بعض الباحثين وجد أنها غير حساسة لا لزيادة ولا لنقصان تركيز أيون الهيدروجين ولكن هناك بعض الأجناس يلائمها رقم pH يتراوح بين ٦ ــ ٨ وبعض الأميبيات توجد بكثرة في الترب الحامضية ولا تلائمها الترب المتعادلة أو القاعدية . أحسن درجة حرارة ملائمة للابتدائيات تكون بين ١٨ ــ ٣٢° م . عمليات إدارة التربة المختلفة التي تزيد من أعداد الأحياء المجهرية الأخرى سوف تزيد من أعداد ابتدائيات التربة .

عند الظروف القاسية من قلة الغذاء أو الأوكسجين فان معظم الأنواع تمر في أطوار ساكنة (تتكيس) . فائدة الابتدائيات للتربة هي القيام بعملية تحليل المخلفات العضوية وتحرير العناصر الغذائية المختلفة ولكن قد تضر التربة من ناحية تغذيتها على الأجناس البكتيرية النافعة .

٧ ــ مجموعة حيوانات التربة Soil Animals (Macrofona)

إن مادرسناه سابقاً يقع ضمن الاحياء المجهرية التي لاترى بالعين المجردة (Microfona). وفي هذا الموضوع نتطرق بصورة مختصرة جداً الى التحدث على الاحياء الكبيرة نوعا ما التي يمكن رؤية معظمها بالعين المجردة . معظم الترب تحوي اعداداً كبيرة وأنواعاً كثيرة من الحيوانات التي يمكن ان يكون لها دور مهم جداً في عمليات تحسين التربة وتحليل المخلفات . وقد اهملت دراسة اهميتها من كثير من علماء التربة موازنة بالدراسات المكثفة التي اجريت على الاحياء المجهرية .

تشمل حيوانات التربة ، الديدان الارضية earthworms ، والديدان السلكية wireworms ، والنمل الأبيض termites ، والنمل الأعتيادي ants ، والديدان الأليفة millipeds وبعض يرقات الحشرات المختلفة . هذه الحيوانات لها القابلية

على الحفر داخل التربة burrowing لعمل حجرات تسكن فيها لها اهمية كبيرة في تحسين تركيب التربة وبالتالي تحسين التهوية ونفاذية الماء داخلها

أما حيوانات التربة التي ليس لها القابلية على الحفر non– burrowing animals فتشمل الديدان الخيطية nematodes والديدان المسطحة flatworms والابتدائيات فانها جميعاً تعيش في انابيب التربة الشعرية المليئة بالماء او في اغشية الماء المتكونة حول حبيبات التربة . وعند جفاف التربة تتكيس كوسيلة لمقاومة الظروف القياسية . هناك حيوانات اخرى تعيش في التربة تشمل انواعاً مختلفة من الخنافس beetles ومتساويات الأرجل isopods والسوس أو العث mites ... الخ . تتغذى هذه الحيوانات على الجزء العضوي من التربة او على الاحياء الاخرى . قسم قليل من هذه الحيوانات كالنمل الأبيض أو متساويات الأرجل لها القابلية على استعمال المخلفات العضوية الحديثة ولكن معظمها يجب ان تاخذ مواد عضوية متحللة قد تحللت من قبل الاحياء الاخرى الموجودة في التربة . فيما يأتي شرح مفصل اكثر لبعض حيوانات التربة .

ديدان الارض : Earthworms

يوجد حوالي ١٨٠٠ نوعاً مصنفاً من ديدان الارض واعدادها في التربة تعتمد بصورة رئيسية على توفر الغذاء والماء حيث تبلغ نسبة الماء حوالي ٥٠ ــ ٩٠ ٪ من وزنها . اذا قلت هذه النسبة بحدود ١٨ ٪ فأنها لاتستطيع الحركة والحفر داخل التربة . معظم ديدان الارض لاتكون نشطة عند رقم pH اقل من ٤ وهناك بعض الانواع المقاومة للحموضة . اعدادها تتراوح بين (١) الى (٤٠٠) لكل متر مربع من التربة وتتراوح كتلتها الحية بين غرام واحد الى (٢٥٠) غم لكل متر مربع . ان مرور المخلفات العضوية واجزاء التربة المعدنية داخل جسم دودة الارض يساعد على عملية تحلل المادة العضو ية وتحويل عناصر التربة المعدنية غير الذائبة الى عناصر ذائبة تطرح للتربة لتكون جاهزة للنبات . وهذه العملية تساعد ايضاً على زيادة ثباتية تركيب التربة . كذلك فأن حفر ديدان الارض داخل التربة يساعد على

تحسين تهويتها ونفاذية الماء من خلالها. ولهذه الصفة اهمية كبيرة في الترب الطينية او الترب القليلة التهوية اذ تساعد على تحسين نمو النباتات المزروعة .

مفصليات التربة Soil Arthropods

تشمل المفصليات : العقارب scorpions ، والعناكب spiders قمل الخشب wood lice ، والديدان الألفية millipedes ، وأم أربع وأربعين centipedes والفئران ، ويرقات الحشرات ... الخ . ان أهمية هذه الحيوانات في تحليل المواد العضوية وتكوين دبال التربة غير معروفة ولكن من دون شك لها اهمية في الكثير من الترب حيث انه عن طريق تغذيتها تسرع في تحليل المخلفات العضوية الموجودة على سطح التربة خصوصاً في حقول الغابات .

الديدان الخيطية : Nematodes

الديدان الخيطية للتربة عبارة عن ديدان صغيرة مدورة يتراوح طولها بين ٠,٥ ـ ٤ ملم وقطرها بين ٥٠ ـ ٢٥٠ ميكرون . يوجد حوالي ٢,٠٠٠ نوع منها موجودة في التربة وحوالي نصف هذا العدد تكون متطفلة على جذور النباتات . عددها يختلف من تربة الى اخرى وكمعدل يتراوح بين ٥ الى ١٠ ملايين لكل متر مربع وهناك بعض البحوث تعطي ارقاماً بحدود ٣٠ مليون . من المحتمل عدم اسهام الديدان الخيطية في تحليل المخلفات العضوية بصورة مباشرة ولم يذكر لها اهمية في تحسين صفات التربة الفيزيائية ولكن لها تأثيرات سلبية على اعداد احياء مجهرية التربة المختلفة اذ تعد تلك الاحياء غذاءها الرئيس .

الفَصْلُ الرَّابِعُ

« دورة الكاربون »

Carbon Cycle

مقدمة :

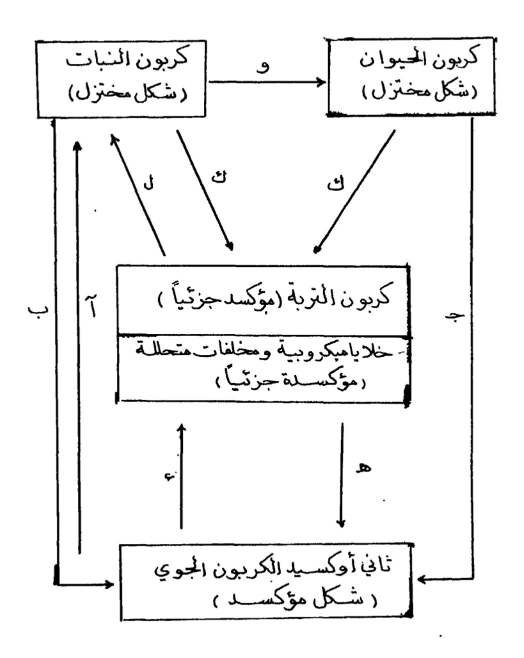
يعد الكاربون الحجر الأساس في بناء الخلية الحية وتتراوح نسبته في خلايا الكائنات المجهرية بصورة عامة بين ٤٠ ـ ٥٠ ٪ من الوزن الجاف حيث تحصل عليه من غاز ثاني اوكسيد الكاربون الموجود بكمية محدودة تبلغ حوالي ٠,٠٣ ٪ من مكونات الهواء الجوي . يتحول غاز CO_2 الى الحالة العضوية بفعل الكائنات الذاتية التغذية الضوئية مثل النباتات الخضراء الراقية على سطح التربة والطحالب التي تعيش في الأوساط المائية وعلى سطح التربة وبعض الأجناس الكثيرة . لذا تعد هذه الكائنات مصدراً لتزويد الكائنات العضوية التغذية من حيوانات وكائنات دقيقة لاتحتوي خلاياها على مادة الكلوروفيل بالمركبات العضوية اللازمة .

عندما يتحول الكاربون الى الصورة المرتبطة يصبح غير صالح لتغذية الأجيال الجديدة من النباتات . لذا بات من الضروري ان تتحلل المواد العضوية ويتحول كاربونها العضوي ثانية الى غاز ثاني اوكسيد الكاربون الذي ينطلق مرة اخرى الى الهواء الجوي لضمان استمرار الحياة للكائنات الراقية .

يقدر استهلاك النباتات على سطح الارض من CO_2 حوالي ١,٣ × ١٠^١١ كيلو غرام سنوياً وهي كمية تعادل $\frac{١}{٢٠}$ من كمية CO_2 الموجودة في الهواء الجوي أو $\frac{١}{١٠٠٠}$ من الكمية الذائبة في المحيطات . ان استمرار استهلاك مثل هذه الكمية الضخمة من CO_2 ووجودها بكمية محدودة في الهواء ومياه البحار تكون عرضة للنفاذ ما لم يتم تعويضها بفعل الكائنات المجهرية .

من مراجعة دورة الكاربون (شكل ٥) يظهر ان قسماً من النباتات ترجع الى التربة على هيئة مخلفات نباتية ويؤكل منها من قبل الحيوانات. واخيراً نجد ان هذا القسم ايضاً يأخذ طريقه الى التربة . بالاضافة الى ذلك فالاحياء الدقيقة التي تموت بين فترة واخرى بسبب قلة الغذاء أو لاسباب اخرى تكون ايضا مصدراً من

مصادر التربة العضوية . جميع هذه المواد مصيرها التحلل الى مكوناتها المعدنية الاصلية والتي من ضمنها غاز CO_2



شكل (٥) دورة الكاربون في الطبيعة

بعض الأعتبارات الكيميائية الحيوية في تحلل المادة العضوية

قبل الدخول في التفاعلات الكيمياوية التي لها علاقة بفعل الاحياء المجهرية يجب ان نوضح بعض الأعتبارات الفسلجية المتداخلة في تغذية هذه الاحياء.

فالعناصر الغذائية التي تستهلكها تؤدي بصفة اساسية ثلاثة وظائف منفصلة هي : ـ

١ ـ تجهيز الكائنات الدقيقة بالعناصر اللازمة لتخليق بروتوبلازم الخلية .

٢ ـ امدادها بالطاقة اللازمة لنمو خلاياها وعملياتها الميتابوليكية .

٣ ـ تعمل العناصر الغذائية كمستقبلات للألكترونات المنطلقة من التفاعلات المنتجة للطاقة في الكائن الحي . ففي الكائنات الهوائية يعمل الأوكسجين كمستقبل نهائي للألكترونات . أما في الكائنات اللاهوائية فتعمل بعض المركبات المعدنية مثل $NO_3^{=}, SO_4^{=}$ كمستقبل للألكترونات بدلاً من الأوكسجين اذ تختزل الى H_2S و NH_3 أو N_2 على التوالي . كذلك يمكن لبعض المركبات العضوية أن تعمل كمستقبل للألكترونات مثل حامض البيروفك **Pyruvic acid** الذي يتحول الى ايثانول **ethanol** بوساطة الخمائر او الى حامض اللاكتيك **Lactic acid** بوساطة بكتريا حامض اللاكتيك .

أما الاعتبارات الكيميائية الحيوية حول انتاج الطاقة واستهلاكها من الكائنات الدقيقة خلال مراحل تحلل المادة العضوية . وقد بينا سابقاً أن CO_2 الذي يتكون خلال عمليات التمثيل الغذائي للاحياء المجهرية الهوائية واللاهوائية من العوامل الضرورية لا لأنه يكمل دورة الكاربون فحسب ولكن لتأثيره المباشر ايضاً في نمو بعض الكائنات الدقيقة الذاتية التغذية الكيمياوية او الضوئية مثلاً **Photo– and chemo– autotrophs** تستخدم Co_2 مصدراً وحيداً للكاربون في تغذيتها اذ ان الاحياء المجهرية الذاتية التغذية الكيمياوية تحتاج بصورة عامة الى الاملاح المعدنية ، CO_2 ، O_2 ، والماء لتخليق المركبات البروتوبلازمية . اما الاحياء المجهرية غير الذاتية (العضوية) التغذية من بكتريا وأكتينومايستيات وفطريات فانها تحتاج الى بعض المصادر الكاربونية البسيطة التي تغطي احتياجاتها كالسكريات والاحماض العضوية بالأضافة الى العناصر المعدنية . لذا فان الكائنات الدقيقة تحتاج الى امداد مستمر بالطاقة وهذا يتم عن طريق الاكسدة الحيوية للمركبات العضوية وغير العضوية .

ان التفاعلات الكيمياوية الحيوية اما ان تكون منتجة للطاقة أو مستهلكة لها . والطاقة التي تنتج يمكن ان تستخدم في اداء عمل معين أو تكون البداية للاستمرار في تفاعل اخر جديد . ان الطاقة من الناحية الكيمياوية البحتة تنتقل بصورة تامة من حالة الى اخرى او من الناحية الطبيعية فان جزءاً من هذه الطاقة يفقد بصورة حرارة . الكائنات الدقيقة تحتاج الى الطاقة من اجل نموها وهذا يتم عن طريق تأكسد المواد العضوية وغير العضوية فالكائنات الهوائية الأجبارية والاختيارية العضوية التغذية تؤكسد الكلوكوز مثلاً الى غاز ثاني أوكسيد الكاربون من أجل الحصول على الطاقة الكبيرة الناتجة من التأكسد كما في المعادلة الآتية :

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + energy$$

أما الهوائية الأجبارية الذاتية التغذية فبامكانها أن تؤكسد الأمونيوم في ملح النشادر مثلاً الى نتريت ثم الى نترات للحصول على الطاقة الناتجة من عملية الأكسدة كما في المعادلة الآتية :

$$2\,NH_4Cl + 3O_2 \xleftarrow{\text{Nitrobomonas}} 3\,HNO_2 + 2\,H_2O + 2\,HCl + energy$$

$$3HNO_2 + 1\tfrac{1}{4}\,O_2 \xleftarrow{\text{Nitrobacter}} 3HNO_3 + energy$$

إن الكائن الدقيق المسؤول عن كلا الحالتين لايحتفظ بداخله على كل هذه الطاقة الناتجة من عملية الاكسدة . نسبة الطاقة المحتجزة داخل الجهاز الحيوي الى الكمية الناتجة من الطاقة **Et/ ET** تسمى كفاءة الطاقة الحرة **Free energy efficiency** . فعندما يذكر ان كمية الطاقة الناتجة من اكسدة كلوريد الأمونيوم الى نتريت هي ٦٦ كالوري فأن الطاقة التي تستفيد منها بكتريا ***Nitrosomonas*** تكون في الواقع حاصل ضرب الطاقة الناتجة **X** كفاءة الطاقة الحرة .

مما تقدم يتضح ان الأوكسجين هو العامل المؤكسد اي ان الطاقة تنطلق بفعل الأوكسجين على سكر الكلوكوز او على كلوريد الامونيوم ، ولكن في الحقيقة تحدث عمليات الاكسدة الحيوية دون اضافة اوكسجين ولكن بالانتزاع الهيدروجين او الالكترونات في المعادلتين الآتيتين :

$$CU \rightarrow CU^{++} + 2e^-$$

$$RH_2 \rightarrow R + 2H^+$$

فالعامل المؤكسد في المعادلتين ليس الأوكسجين . يتضح مما تقدم انه لأتمام عملية الأكسدة يجب نزع ذرات الهيدروجين أو الألكترونات وهذا ما يحدث فعلاً عند التفاعل مع الاوكسجين الذي يعمل في هذه الحالة كمستقبل للألكترونات او الهيدروجين .

في الكائنات الهوائية لايكون الأوكسجين السبب المباشر للأكسدة بل هو في الواقع عبارة عن مستقبل للألكترونات التي تنطلق في اثناء العملية ويتكون الماء عن طريق اختزال الأوكسجين بوساطة الألكترونات أو الهيدروجين. أما في غياب الأوكسجين (الكائنات اللاهوائية) فانه هناك مركبات أوكسجينية اخرى يمكن ان تعمل كمستقبلات للألكترونات مثل النترات NO_3^- لبعض انواع الجنس ***Pseudomonas*** ويكون ناتج اختزال النترات هو النيتروجين N_2 والكبريتات $SO_4^=$ في البكتريا ***Desulfovibrio desulforicans*** ويكون ناتج الأختزال هو كبريتيد الهيدروجين H_2S ، وثاني اوكسيد الكاربون CO_2 لجنس ***Methanobacterium*** ويكون ناتج الاختزال هو الميثان CH_4 وهكذا. ان هذه المواد لاتستخدم كمصدر للأوكسجين (كما كان المفهوم سابقاً) ولكن كمستقبلات للهيدروجين. أما الاجناس ***Clostridium*** اللاهوائية الأجبارية والـ ***Lactobacillus*** اللاهوائية الاختيارية فهي لاتستخدم مركبات معدنية كمستقبلات للألكترونات. ففي هذه الاجناس من البكتريا يفقد الهيدروجين المنتزع من المركبات العضوية في تفاعلات اخرى مع احد نواتج تكسير الكاربوهيدرات ويمكن تمثيل ذلك بالتخمر اللاكتيكي للكلوكوز كما في المعادلة الآتية :

$$C_6H_{12}O_6 \leftarrow 2\,C_3H_4O_3 + 4H$$

Pyruvic acid

وليس من الضروري كذلك ان تكون جميع التفاعلات منتجة او مستهلكة للطاقة بالنسبة للكائن المجهري فكثير من المركبات المعقدة يجب تحويلها اولاً الى صورة ابسط قبل ان تستخدم. مثال ذلك الكائنات الدقيقة التي تحلل السليلوز حيث تحوله من صورة السلاسل الطويلة للكاربوهيدرات الى سكريات بسيطة كما في المعادلة الآتية :

$$(C_2H_{12}O_5)n + n\,H_2O \rightarrow n\,C_6H_{12}O_6$$

cellulose. glucose

ففي التفاعل السابق لاتنتج طاقة تستفيد منها الكائنات النشطة في تحليل السليلوز ولكن الكلوكوز الناتج عنها يمكن للكائن المجهري ان يحرر منه الطاقة بعمليات التحول الغذائي التي يستخدمها في بناء الخلية وهذا ينطبق ايضاً على المواد العضوية الاخر كالهيميسليلوز واللكنين والمركبات الكاربوهيدراتية الاخرى المعقدة التركيب والتي ستشرح بالتفصيل في مواضيع قادمة.

إن القيام بعمليات الأكسدة سواء في وجود الآوكسجين أو غيابه لايكفي لأكتساب الكائن الحي الطاقة النافعة حيوياً ولكي يتمكن من استخدام الطاقة

بطريقة فعالة في اثناء النمو فانه يجب تنظيم عمليات تخزين الطاقة واطلاقها تنظيماً محكماً ويتم ذلك بوساطة مركبات الـ ADP والـ ATP . فعندما يقوم الكائن الدقيق بأنتاج الطاقة خلال عمليات الأكسدة فانه يستخدم جزءاً منها في تحويل الـ ADP الى ATP بوجود الفوسفور غير العضوي .

ADP + phosphate + energy → ATP

وعند احتياج الكائن ألدقيق للطاقة من اجل استخدامها في بناء الخلية أو في التفاعلات الاختزالية بها فأن الـ ATP تتحول مرة اخرى الى ADP مع التحكم في انطلاق الطاقة منها

ATP → ADP + phosphate + energy

النشاط الأنزيمي في التربة :

معظم التفاعلات الكيمياوية التي تتم داخل جسم التربة لايمكن ان تحدث الا بوساطة الأنزيمات المختلفة التي تفرزها الكائنات الدقيقة ولكل تفاعل انزيم خاص به يفرزه كائن حي متخصص تقسم الانزيمات بصورة عامة على قسمين :

القسم الاول يسمى Constitutive (Entracellular) enzymes

وهذه تشمل الانزيمات الموجودة بصورة طبيعية داخل الخلية كأنزيمات دورة الكلايكوليس (glycolysis) وأنزيمات دورة الحامض الكاربوكسيلي الثلاثي (T.C.A.) . وهذه الانزيمات تخرج خارج الخلية فقط عند موتها وتحللها بفعل نشاط احياء اخرى .

القسم الثاني يسمى Inducible (Extracellular) enzymes

وهذه تشمل الآنزيمات غير الموجودة بصو رة طبيعية داخل الخلية وانما تحفز وتتكون وتفرز خارج الخلية الحية نتيجة وجود مركبات عضوية معينة كأنزيمات السيليوليز Cellulases التي تتكون نتيجة لوجود السليلوز في بيئة التربة والكيتينيز chitinases التي تتكون نتيجة لوجود الكايتين في بيئة التربة وهكذا .

يقدر نشاط انزيم معين في تربة ما باضافة المركب العضوي المناسب لعمل ذلك الأنزيم المطلوب دراسته الى التربة ثم التحصين في ظروف مناسبة يتم بعدها قياس احد نواتج التفاعل الناتجة بفعل الأنزيم على ذلك المركب العضوي . كذلك يمكن تقدير الجزء المستهلك من المادة المضافة . المشكلة الرئيسية بالنسبة لقياس نشاط انزيم معين في وسط كالتربة هي وجود الخلايا الحية التي يمكن ان تنمو خلال فترة التحصين وبالتالي يمكن ان تؤثر في النتيجة . حيث انها سوف تستهلك قسما من المادة المضافة او نواتج تحللها مما قد يؤدي الى اختفاء اي منهما او بقاء كمية قليلة من تلك المادة او من نواتج تحللها وفي كلتا الحالتين يتأثر نشاط الانزيم المراد دراسته .

بالأمكان التغلب على المشكلة السابقة بطرق عديدة منها اضافة مادة التولوين Toluene بتركيز معين الى عينة التربة كمادة قاتلة للكائنات الحية وبالتالي ايقاف نشاطها في اثناء فترة تقدير الانزيم . وهذه المادة شائعة الاستعمال عند تقدير نشاط بعض الانزيمات في التربة كاليوريز **urease** والفوسفاتيز **phosphatase** والسكريز **saccharase** وانزيمات اخرى . لأستعمال التولوين عيوب ، منها انها لاتقتل جميع الكائنات الحية كما انها قد تسبب في تحليل خلايا بعض الكائنات الحساسة لها مما يؤدي الى خروج الانزيمات الداخلية التي قد تؤثر في عملية القياس . ومن الممكن استعمال طريقة اخرى وهي تعقيم التربة عن طريق الاشعاع ذي الطاقة العالية حيث يسبب هذا الاشعاع فقدان الخلية لحيويتها . في مثل هذه الطريقة يجب تجنب استعمال الجرعات العالية من الاشعاع لكي نسمح للأنزيمات ان تقوم بعملها . كما يمكن استخدام اشعاع الكتروني او اشعة كاما الناتجة من كوبلت ^{60}CO او اشعة أكس للغرض نفسه . وهناك طرق اخرى لامجال لذكرها .

ان الطرق المذكورة في اعلاه لتقدير النشاط الأنزيمي لتربة ما لاتعدّ مثالية أو نموذجية عند تقدير الأنزيمات الخارجية التي توجد بصورة حرة في التربة وبصورة عامة فان أنسب الطرق هي تلك التي تتضمن ما يأتي :

أ ـ أيقاف تكوين كميات جديدة من الانزيمات عن طريق التعقيم .
ب ـ ايقاف عملية تكاثر الكائنات المجهرية وبالتالي ايقاف تمثيلها للمواد المضافة أو لنواتج التحلل باتباع ايضاً طريقة التعقيم .

جـ ـ يجب ان تمنع الطريقة المستعملة تكسير اسطح الخلايا وبذلك لاتصبح المواد في متناول الانزيمات الداخلية للخلية .
د ـ يجب ان لاتؤثر الطريقة في الانزيمات الخارجية في العينات المراد دراستها .

لقد أتم علماء كثيرون دراسة تقدير النشاط الانزيمي في التربة وبعض الانزيمات التي درست موضحة في الجدول (٦) مع تفاعلاتها . وسبق لنا ان قلنا ان من النادر وجود تلك الانزيمات بصورة حرة في التربة اذ ان معظمها من الانزيمات الداخلية وتظهر في الوسط نتيجة تحلل الخلايا . هناك عوامل عديدة تؤثر في النشاط الأنزيمي في التربة منها درجة تركيز ايون الهيدروجين والحرارة ودرجة ملوحة التربة وغيرها .

طرق قياس درجة تحلل المادة العضوية :

ان من الصعوبة بمكان قياس درجة تحلل المادة العضوية في التربة نظراً لصعوبة التحكم بظروف التحلل وقياس المادة المتحللة ونواتج تحللها مع تحديد مصدر تلك المواد . فاذا أخذنا مثلاً تحرر CO_2 من التربة كأساس لقياس مقدار تحلل المواد العضوية فيها فأن النتيجة لاتكون بتلك الدقة وذلك لأن تحرر قسم من هذا الغاز قد يكون ناتجاً عن تنفس الجذور او من خلال تفاعلات كيمياوية وحيوية اخرى تجري في التربة ولهذا السبب نلاحظ دائماً عند قياس كمية CO_2 المتحررة من التربة مختبريا تكون اقل من كمية CO_2 المتحررة من التربة حقلياً خلال القيام ببعض التجارب . بصورة عامة هناك اربعة طرق يمكن بواسطتها قياس درجة تحلل المادة العضوية في تربة ما هي :

١ ـ قياس كمية ثاني اوكسيد الكاربون المتحررة من المادة العضوية .
٢ ـ قياس كمية الاوكسجين المستهلكة لأكسدة المادة العضوية .
٣ ـ تقدير النقص في كمية المادة العضوية بالطرق الكيمياوية او الوزنية .
٤ ـ تتبع اختفاء مادة معينة مثل السيليلوز او اللكنين أو والهيميسليلوز .

إن من اكثر الطرق شيوعاً هي طريقة قياس كمية CO_2 المتحررة من المادة العضوية خلال فترة تحضين معينة ، لتقدير كمية Co_2 يمرر هواء خالٍ من هذا الغاز على سطح عينة التربة المعاملة بالمادة العضوية والمحضنة في درجة حرارة ثابتة

جدول (٦) بعض الانزيمات الشائعة في التربة وتفاعلاتها .

الانزيمات	تفاعلاتها
Amylase	Hydrolysis of starch التحلل المائي للنشا
Lipase	Lipid ← glycerol + fatty acids الاحماض الدهنية + كليسرول ← الشحوم
Cellulase	Hydrolysis of cellulose التحلل المائي للسيليلوز
proteinases	Conversion of protein to amino acids تحويل البروتين الى الاحماض الامينية
Urease	Urea → $NH_3 + CO_2$ ثاني اوكسيد الكاربون + امونيا ← يوريا
Dextranase	Dextran → glucose كلوكوز ← دكستران
Sulfatase	Sulfate ester → inorganic sulfate الكبريتات اللاعضوية ← استرات الكبريتات
Catalase	$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$ اوكسجين + ماء ← بيروكسيد الهيدروجين
Invertase	Sucrose → glucose + fructose فركتوز + كلوكوز ← سكروز

فيحمل تيار الهواء غاز ثاني اوكسيد الكاربون المنطلق من التربة حيث يتم تقديره بعد ذلك بالطرق الوزنية او الحجمية بعد امتصاصه في مواد خاصة كهيدروكسيد الصوديوم او البوتاسيوم مثلاً . هناك طرق اخرى تستخدم و ٢٫١ المانومترات Manometric method لقياس درجة تحلل المادة العضوية حيث يجري قياس تبادل الغازات في دورقين من دوارق التنفس بوجود مادة قلوية أو عدم وجودها . فالدورق الاول يمثل كمية الاوكسجين المستهلك في حين يمثل الثاني مجموع الأوكسجين المستهلك و CO_2 المتحرر . الفرق بين قراءات المانومترات المثبتة على الدوارق تمثل معدل إنطلاق CO_2 . في كلا الطريقتين السابقتين يمكن حساب معدلات التحلل على فترات منتظمة وقصيرة من دون تحريك التربة .

عمليات انحلال المواد العضوية Decomposition of Organic Matter

من المحتمل ان اهم وظيفة تقوم بها احياء مجهرية التربة من بكتريات وفطريات وكائنات اخرى هي تحليل المادة العضوية الى عناصرها المعدنية الاصلية ن كاربون ، ونيتروجين ، وكبريت ، وعناصر صغرى .

المقصود بالمادة العضوية هنا هو بقايا النباتات والحيوانات غير المتحللة التي تضاف او تقلب في التربة لغرض الافادة منها سماداً عضوياً ومواد متباينة في تحللها .

المراحل النهائية من التحلل هي : توفير عناصر غذائية جاهزة للنبات ، وخلايا ميكروبية ، ومواد سوداء اللون تعرف بدبال التربة Soil humic matter . وعلى الرغم من ان دبال التربة هو اكثر المواد العضوية مقاومة للتحلل ، الا انه يتحلل ببطء الى العناصر الغذائية المختلفة اضافة الى ذلك فان خلايا الكائنات الحية الموجودة في التربة هي ايضاً تتحلل بعد موتها لتكملة دورة الكاربون والنيتروجين .

أ ـ تركيب المخلفات العضوية :

تتركب المخلفات العضوية ذات الاصل النباتي من مواد سليلوزية تتراوح نسبتها بين ١٥ ـ ٦٠ ٪ من الوزن الجاف للنباتات المختلفة ومواد هيميسليلوزية تتراوح نسبتها بين ١٠ ـ ٣٠ ٪ من الوزن الجاف ، ومواد بروتينية بين ٥ ـ ١٠ ٪ ، وليكنينات بين ٥ ـ ٣٠ ٪ ، ونشاء بين ٥ ـ ٣٠ ٪ ، وسكريات بسيطة واحماض عضوية

واحماض امينية وتتراوح نسبتها بين ٥ ـ ٣٠ ٪ . اما الدهون والشموع والزيوت والاصباغ فلا تزيد نسبتها على ٢ ٪ من الوزن الجاف للنبات . عدا بعض الاصناف فمثلاً الصنوبريات تحوي الى حد ٢٤ ٪ من هذه المواد .

ب ـ انحلال المواد العضوية

ان دراسة ميكانيكية تحلل المركبات العضوية المكونة لبقايا النباتات وفهم عملية تكون دبال التربة يحتاج الى دراية واسعة باساسيات علم الكيمياء الحياتية وسوف نحاول جهد الامكان توضيح بعضها في اثناء الشرح . سوف نبدأ بالتحلل الحيوي لأبسط تراكيب النبات وهي السكريات الاحادية متمثلة بتحلل الكلوكوز ثم ننتقل الى المركبات الاكثر تعقيداً وفي الاخر سوف ندرس تحلل اللكنين الذي يعدّ اكثر المركبات النباتية مقاومة للتحلل . اما تحلل دبال التربة فسوف يشرح في نهاية الموضوع .

١ ـ السكريات الاحادية **Monosaccharides**

أ ـ تركيبها **Structures**

تشمل السكريات الاحادية كل من الكلوكوز ـ الكالكتوز ، والمانوز والسكريات الأمينية .... الخ . تركيبها الكيمياوي حسب **Hawarth representation** يكون كما يأتي :

6
CH2OH
H 5 O H
4 OH H 1
OH 3 2 OH
H OH

∝ - Glucose

6
CH2OH
H 5 O OH
4 OH H 1
OH 3 2 H
H OH

β - Glucose

الفرق بين glucose – ، B– glucose هو في مجموعة الـ OH الواقعة في الكاربون رقم ١ ففي التركيب الاول تكون للاعلى وفي الثاني تكون للأسفل .

الكالكتوز مشابه في تركيبه للكلوكوز ماعدا موقع مجموعة الـ OH في الكاربون رقم ٤ فتكون على العكس . المانوز مشابه لتركيب الكلوكوز عدا ان موقع الـ OH في الكاربون رقم ٢ تكون بالعكس . ويمكن رسم تركيب – α و β لكل منهما .

تركيب السكريات الامينية الـ glucosamine مثلاً هو نفس تركيب الكلوكوز عدا احلال مجموعة امين(NH_2 –) محل مجموعة الـ OH في الكاربون رقم ٢ . الـ galactosamine مشابه لتركيب الكالكتوز عدا احلال مجموعة الأمين محل مجموعة الهيدروكسيل في الكاربون رقم ٢ . ويمكن رسم α ، β لكل منهما . وهكذا فبتغير بسيط في تركيب الكلوكوز يمكن رسم اي مركب من مركبات السكريات الاحادية (للحصول على معلومات تفصيلية اكثر يجب الرجوع الى اي كتاب في موضوع الكيمياء الحياتية)

ب ـ تحللها Decomposition

سوف تمثل تحللات السكريات الاحادية بتحلل الكلوكوز . وحدة الكلوكوز صغيرة جداً بحيث يمكن لأي كائن حي ان يأخذه مباشرة الى داخل الخلية من الوسط الذي يعيش فيه سواء كان بيئة غذائية أو تربة . بعد ان يؤخذ الكلوكوز الى داخل الخلية يمر بدورة الكلايكوليسز glycolysis التي هي عبارة عن مجموعة من التفاعلات تنتهي بتكوين حامض البيروفك Pyruvic acid . اذا كانت الظروف المحيطة لاهوائية (تربة غدقة) فسوف يتحول هذا الحامض بوساطة البكتريا اللاهوائية السائدة تحت هذه الظروف الى احماض عضوية مختلفة وكحول يطرح الزائد منها عن حاجة الخلية الى التربة . لذلك يلاحظ وجود كل من الايثانــول وحوامــض الــ Succinic butyric Propionic acetic formic ... الــخ في التــرب العذقة . اضافة الى تكون غازات الهيدروجين ، وثاني اوكسيد الكاربون والميثان ، اما اذا كانت الظروف هوائية فسوف يدخل حامض البيروفك داخل جسم خلية البكتريات او الفطريات الهوائية في دورة حامض الكاربوكسيل الثلاثي .T.C.A ويكون ناتج التحلل النهائي غاز ثاني اوكسيد الكاربون الذي يطرح الى الجو وكمية كبيرة من الطاقة موازنة بالكمية القليلة منها التي تنتج تحت الظروف اللاهوائية .

السؤال إذا كانت الظروف هوائية تماماً فهل سيتحلل كل الكلوكوز المضاف الى التربة بصورة نقية الى CO_2 ؟ الجواب على هذا السؤال طبعاً لا لان قسماً منه او مركباته الوسطية سوف تدخل في بناء خلايا جديدة (كتلة حية) والقسم الآخر سوف يرتبط بحبيبات الدبال او الطين الموجودة في التربة التي تحمل شحنات

سالبة . عملية الربط هذه تكون بوساطة اواصر هيدروجينية او بوساطة قوى اخرى . والقسم الثالث سوف يتحلل الى غاز ثاني اوكسيد الكاربون . نسبة كاربون الكلوكوز الذي يتحلل الى غاز Co_2 تختلف من تربة الى اخرى وحسب الظروف البيئية المحيطة ، ولكن بصورة عامة قد تصل هذه النسبة الى حوالي ٧٥ ٪ من الكاربون المضاف الى التربة في الاسبوع الاول والى حوالي ٨٧ ٪ في نهاية الاسبوع الثاني عشر من التحضين .

ويمكن القول بصورة عامة ان جميع اجناس وانواع البكتريا والفطريات بامكانها ان تحلل الكلوكوز والسكريات الاحادية الاخرى لاستعمالها مصادر جاهزة للطاقة والكاربون .

٢ ـ السكريات المتعددة **Polysaccharides** :

تشمل السكريات المتعددة كلًا من السيللوز ، والهيميسيللوز ، والنشاء ، والكيتين ، والبكتين ..... الخ وفيما يأتي شرح لتركيب وتحلل كل منها :

١ ـ السيللوز : **Cellulose**

ا ـ تركيبه : **S tructure**

السيللوز عبارة عن مادة كاربوهيدراتية تتكون من وحدات من الكلوكوز مرتبطة ببعضها طولياً بروابط كلايكوسيدية من نوع 1,4 ـ β كما في الشكل التالي : ـ

يتكون جزيء السيللوز من حوالي ٢٠٠٠ ـ ١٠,٠٠٠ وحدة كلوكوز وقد تصل احياناً الى ١٥,٠٠٠ حيث تختلف عدد وحدات الكلوكوز حسب نوع النبات . وتتراوح الاوزان الجزيئية له بين ٢٠٠,٠٠٠ ـ ٢,٤ مليون . يوجد السيللوز في النباتات البذرية والطحالب وكثير من الفطريات واكياس عدد من الابتدائيات ويتركز وجوده في

جدار الخلية على هيئة وحدات دقيقة ذات اشكال عصوية تعرف بـ **micelles** وهذه بدورها تكون وحدات اكبر في التركيب لتشكل اليافاً دقيقة تعرف بـ **micro fibrils** وأقطارها الداخلية بين ٠,٢ ـ ١٠ ميكروميتر . وتتكون الالياف السيللوزية من جزء بلوري **crystaline part** سلاسله مثبتة بوساطة اواصر هيدروجينية وجزء غير ثابت وغير منتظم الشكل . إن وحدة الـ **micell** تحتوي تقريباً على ١٠٠٠ وحدة من الكلوكوز . وبصورة عامة يكون السيللوز من ١٥ ـ ٦٠ ٪ من الوزن الجاف للنبات . تحتوي الاعشاب الصغيرة والبقليات على نسبة ١٥ ٪ سيللوز. اما المواد الخشبية من اشجار الغابات فتحتوي على اكثر من ٥٠ ٪ .

ب ـ تحلله Decomposition :

تحلل السيللوز يحدث طبقة بعد طبقة اخرى . اي عند تحلل طبقة من الالياف السيللوزية الى وحدات الكلوكوز تليها الطبقة الثانية وهكذا . لا يمكن للاحياء المجهرية المحللة للسيللوز من بكتريات وفطريات ان تأخذ جزيئة السيللوز الكبيرة مباشرة الى داخل الخلية . فلابد من ان تتكسر الى اجزاء صغيرة فأصغر .

لذلك فالخطوة الاولى من التحلل تتم بألتصاق او ادمصاص الخلية المحللة على جزيئة السيللوز ثم تفرز عليها انزيمات خارجية محفزة تسمى مجتمعة بأنزيمات السيليوليز **Cellulases** . وبفعل هذه الانزيمات ووجود الماء تتكسر جزيئة السيللوز الى **n cellotrioses** وهي عبارة عن ثلاث وحدات من الكلوكوز مرتبط بعضها ببعض ثم الى **n cellobioses** التي هي عبارة عن وحدتين من الكلوكوز

مرتبطتين ببعضها ثم الى n glucose . والكلوكوز كما اشرنا سابقاً يؤخذ الى داخل الخلية لكي يستعمل مصدراً للكاربون والطاقة لبناء كتلة حيوية جديدة .

يقسم بعض المختصين النظام الانزيمي لتحلل السيللوز The cellulytic enzymes على ثلاثة انواع من الانزيمات .

١ ـ انزيم C_1 (C_1 – enzyme): وهو انزيم لم يتم وصفه حتى الآن وهو يقوم بتحطيم التركيب البلوري Crystaline structure ويعدّ المهاجم الاول في عملية تحلل السيللوز .

٢ ـ انزيم كلوكونيز B (1– 4) exo and endo glucanase (Cx) ودور هذا الانزيم هو اذابة مكونات السيللوز الى سكريات ثنائية (cellobiose) وسكريات احادية (glucose)

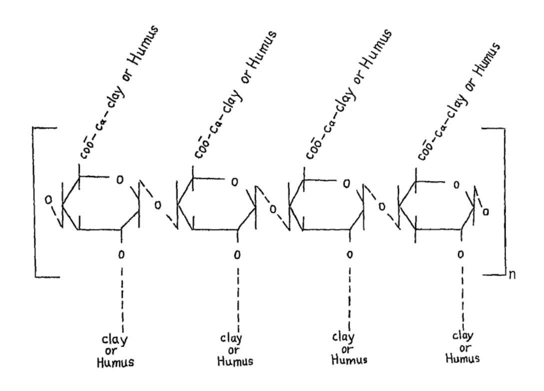
٣ ـ انزيم بيتا كلوكوسيريز B– glucosidase : وهذا الانزيم يكوّن الكلوكوز في المرحلة الاخيرة من التحلل .

ليس كل السيللوز المضاف بصورة نقية الى التربة يتحلل الى CO_2 في حالة الظروف الهوائية بل ان قسماً منه او من مركباته الوسطية يساهم في بناء خلايا جديدة والقسم الآخر منه او مركباته الوسطية قبل ان تؤخذ الى داخل الخلية ترتبط مع الدبال او الطين الموجود في التربة . والقسم الثالث يتحلل الى غاز CO_2 . نسبة كاربون السيللوز الذي سيتحلل الى ثاني اوكسيد الكاربون تختلف من تربة الى اخرى حسب الظروف البيئية المحيطة . وبصورة عامة قد تصل هذه النسبة الى حوالي ٥٥ ٪ من الكاربون المضاف بشكل سيللوز ، بعد ثلاثة اشهر .

جـ ـ ميكانيكية ارتباط السيللوز بحبيبات الطين او الدبال :

كما ذكرنا اعلاه ان تحلل السيللوز يكون بوساطة مجموعة انزيمات السيليوليز المحفزة وهذا معناه ان اجناس البكتريا والفطريات المتخصصة في تحليل السيللوز لا تحلله في بداية اضافته للتربة كما في الكلوكوز وانما تحتاج بعض الوقت لانتاج الانزيم (Lag phase) وفي هذه الحالة ستكون الفرصة اطول لتكوين معقدات بين

حبيبات الطين او المادة العضوية (الدبال) مع السيللوز (سيللوز ـ طين او سيللوز ـ دبال او طين ـ سيللوز ـ دبال) . تتكون هذه المعقدات إما بوساطة اواصر هيدروجينية بين المجاميع الكثيرة من الهيدروكسيلات الداخلة في تركيب السيللوز مع الطين او الدبال ، او في بعض الاحيان يمكن لمجاميع الـ CH_2OH ان تتأكسد الى مجاميع كاربوكسيل COOH لتكوين مركب آخر يسمى **polyglucuronic acid** وذلك بوساطة بكتريا متخصصة للقيام بهذه العملية فقط . وهذا المركب الجديد يمكن ان يكون معقدات مع حبيبات الطين او الدبال عن طريق جسر من الكالسيوم او المغنيسيوم او اي عنصر ثنائي الشحنة الموجبة وذلك لتربط الشحنات السالبة الموجودة على سطوح الطين او المادة العضوية مع الشحنات السالبة لمجاميع الكاربوكسيل كما في الشكل الآتي :



إن عملية تقييد السيللوز بهذه الطريقة سوف تجعله بعيداً عن متناول الاحياء المجهرية وبالتالي سيصبح اكثر مقاومة للتحلل (يتحلل ولكن ببطء) . إضافة الى ذلك فإن للتربة او مادة الدبال القابلية على تقييد مجموعة انزيمات السيلليوليز نفسها لان الانزيم عبارة عن بروتين والبروتين يمكن ان يتقيد كما في السيللوز (سوف نلاحظ ذلك لاحقاً) وبالتالي سوف يتحول الانزيم من الحالة النشطة في تحليل السيللوز الى الحالة غير النشطة .

د ـ ظاهرة مانع الهدم الغذائي Catabolite Repression :

المقصود بهذه الظاهرة ان نواتج التفاعل يمكن ان تعمل على وقف تخليق المزيد من جزيئات الانزيم ، وهذه الظاهرة تكون مسيطرة من جينات معينة موجودة على كروموسوم الخلية . مهمة احد الجينات فتح عملية تكون الانزيم (انزيمات السيلليوليز في هذه الحالة) والآخر مهمته غلق العملية . زيادة تركيز الكلوكوز داخل الخلية عبارة عن مؤشر او انذار للجين الثاني تجعله يغلق تخليق الانزيم الى حين استعمال الكلوكوز الموجود داخل الخلية . نقصان تركيز الكلوكوز الى حد معين تكون موشراً للجين الاول لكي يعمل على فتح تخليق الانزيم ثانية وهكذا ، إن لهذه الظاهرة اهمية كبيرة من حيث إفراز الانزيم خارج الخلية من دون سيطرة معناه تكوّن كميات كبيرة من الكلوكوز اكثر من حاجة الخلية . تكوّن هذه الكميات الكبيرة من الكلوكوز معناه إعطاء فرصة للاحياء المجهرية الاخرى التي ليس لها القابلية على تحليل السيللوز لكي تستعمل الكلوكوز المتكون وبالتالي سوف تكون خسارة للخلية الاولى التي بذلت مجهوداً كبيراً في تحليل السيللوز . هذا من ناحية ومن ناحية اخرى سوف تكون الفرصة احسن لحبيبات الطين والدبال لكي تقيد كميات اكبر من السيللوز بالطرق السابقة الذكر .

هـ ـ الأحياء المجهرية المحللة للسيللوز :

عدد كبير من أجناس البكتريات والأكتينومايسيتات والفطريات لها القابلية على أستعمال السيللوز كمصدر للكاربون والطاقة خصوصاً عند توفر قدر كاف من عنصر النتروجين الضروري لبناء الخلية (جدول ٧) فيعقب إضافة تبن الحنطة الذي يحوي على نسبة عالية من السيللوز زيادة كبيرة في أعداد الفطريات (قد تصل الى ١٠^٦ خلية لكل غرام تربة) .

جدول (٧) بعض أجناس الأحياء المجهرية التي لها القدرة على تحليل السيللوز

الأكتينومايسيتات	البكتريا	الفطريات	
Micromonospora	*Bocillus*	*Coprinus*	*Alternaria*
Nocardia	*Cellulomonas*	*Fusarium*	*Chaetomium*
Streptomyces	*Clostridium*	*Penicillium*	*Fomes*
Streptoporangium	*Corynebacterium*	*Rhizoctonia*	*Myrothecium*
	Cytophaga	*Trametes*	*Polyporus*
	Polyangium	*Trichothecium*	*Rhizopus*
	Pseudomonas	*Zygorhynchus*	*Trichoderma*
	Sporocytophaga		*Verticillium*
	Vibrio		*Aspergillus*
	Cellvibrio		

من المحتمل أن تكون الفطريات هي العامل الاساس في تحليل السيللوز في الأراضي الرطبة ، في حين يحتمل أن تكون البكتريا اكثر أهمية في هذا المجال في المناطق شبه الجاف . وبصورة عامة تكون أجناس الفطريات التي لها القابلية على أنتاج أنزيم السيلليوليز وبالتالي تحليل السيللوز اكثر بكثير من الأجناس البكتيرية القادرة على أنتاج هذا الأنزيم . تختلف أعداد البكتريا الهوائية التي تحلل السيللوز من تربة الى أخرى فقد توجد أحياناً بأعداد تقل عن ١٠٠ وفي أحيان أخرى بأعداد تزيد على ١٠ ملايين لكل غرام تربة .

العوامل التي تؤثر في عملية تحلل السيللوز

جميع العوامل التي درست سابقاً وهي تؤثر في الأحياء المجهرية الموجودة في التربة تؤثر أيضاً في عملية تحلل السيللوز أو أي مركب عضوي آخر يضاف للتربة . وبالنظر لوجود بعض الخصوصيات في هذه العوامل سوف نحاول شرحها بايجاز ،

١ ـ توفر نيتروجين جاهز

السيللوز مركب كاربوهيدراتي خال من عنصر النيتروجين وأي كائن حي يشارك في تحليله لاستعماله مصدراً للطاقة والكاربون بحاجة الى نيتروجين لتكملة بناء الخلية (جدول ٨) . إضافة السيللوز الى تربة فقيرة بالنيتروجين الجاهز تبطيء من تحلله الى درجة كبيرة . لذلك يجب إضافة نيتروجين معدني كسماد

جدول (٨) يبين تأثير اضافة السليلوز والنيتروجين في المجاميع الميكروبية بالتربة .

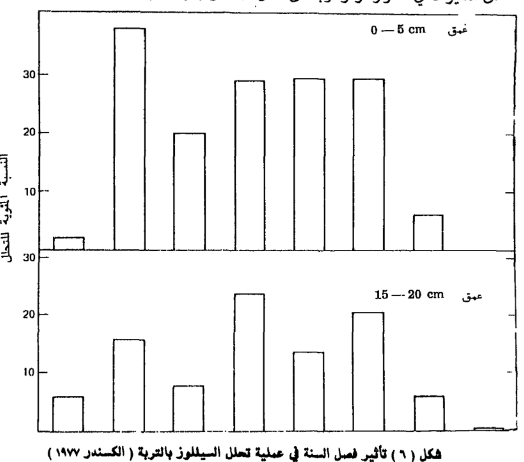
التربة	المعاملة	عدد الاحياء لكل غرام تربة × $١٠^{٣}$		
		فطريات	بكتريا	اكتينومايسيتات
١) تربة غير معاملة بكاربونات الكالسيوم	غير معاملة	١١٦	٣,٩٠٠	١,٣٠٠
pH = ٥,١	اضافة نيتروجين	١١٦	٣,٩٠٠	١,٣٠٠
	اضافة سليلوز	١٦٠	٣,٦٠٠	٦٠٠
	اضافة سليلوز ونيتروجين	٤,٨٠٠	٢,٥٠٠	٤٠٠
٢) تربة معاملة بكاربونات الكالسيوم	غير معاملة	٢٥	٧,٧٠٠	٢,٨٠٠
pH = ٦,٥	اضافة نيتروجين	٢٥	٧,٧٠٠	٢,٨٠٠
	اضافة سليلوز	٤٧	١٨,٠٠٠	٢,٢٠٠
	اضافة سليلوز ونيتروجين	٢٩٠	٤٧,٠٠٠	٣,٢٠٠

ملاحظة : الاضافات كانت كما يلي : ـ
سليلوز = ١٪
نيتروجين على صورة نترات = ٠,١٪
وفترة التحضين كانت مدة ١٧ يوم

نترات الأمونيوم للأسراع في عملية التحلل. في البداية يتناسب تحلل السيللوز طردياً مع النيتروجين المعدني المضاف الى حد توفر جزء واحد من النيتروجين لكل ٣٥ جزءاً من السيللوز. إضافة الأسمدة العضوية واليوريا أو الاحماض الأمينية تزيد من سرعة التحلل أيضاً.

٢ ـ درجة الحرارة.

ان تحلل السيللوز يمكن أن يتم في مدى حراري واسع فيحدث تحلل حتى في درجات الحرارة القريبة من الأنجماد ويحدث تحلل حتى في درجة ٦٥° م. لكن في كلتا الحالتين يكون التحلل بطيئاً الا ان أفضل درجة حرارة ملائمة للتحلل هي القريبة من تلك تحتاجها الأحياء المجهرية المحبة للحرارة المعتدلة **(mesophiles)**. هناك تأثير واضح لفصول السنة في معدل التحلل (شكل ٦) وقد يكون ذلك راجعاً الى التغيرات في الحرارة والرطوبة من فصل الى آخر بدرجة كبيرة.



شكل (٦) تأثير فصل السنة في عملية تحلل السيللوز بالتربة (الكسندر ١٩٧٧)

٣ ـ الرطوبة والتهوية

تحلل السيللوز يتم في ظروف هوائية ولاهوائية ولكنه يكون أسرع بكثير في الظروف الهوائية لأنه في هذه الظروف يتم التحلل بواسطة عدد كبير من أجناس البكتريا بضمنها الأكتينومايسيتات والفطريات الهوائية . أما عندما تكون الظروف لاهوائية (تربة غدقة) فيتم التحلل بصورة رئيسة بوساطة البكتريا اللاهوائية فقط . أنسب رطوبة ملائمة لتحلل السليلوز هي بين ٥٠ ـ ٦٠ ٪ من السعة التشبعية للتربة .

ان زيادة الرطوبة على هذا الحد يؤدي الى زيادة نشاط البكتريا اللاهوائية المحللة للسليلوز في حين تنخفض اعداد الفطريات (والاكتينومايسيتات) المحللة للسليلوز ، وفي مستوى الرطوبة المتوسط فانه يناسب نمو الفطريات والبكتريا الهوائية المحللة للسليلوز وهناك سلالات تتحمل رطوبة اقل من المتوسط .

٤ ـ درجة تركيز أيون الهيدروجين pH

تكلمنا سابقاً عن تأثير الرقم الهيدروجيني في الانواع المختلفة من الاحياء المجهرية وما ذكرناه ينطبق على تحلل السليلوز حيث يحدث التحلل الجيد عند الظروف المتعادلة او الحامضية أو القاعدية قليلاً . الا انه من الممكن أن يحدث تحلل في الترب الحامضية وحتى pH ٤ أو اقل وكذلك عند أرقام الـ pH العالية . وفي كلتا الحالتين يكون التحلل بطيئاً .

٥ ـ تأثير وجود أنواع اخرى من الكاربوهيدرات :

لقد لوحظ ان وجود مركبات عضوية سهلة الاستعمال من الاحياء المجهرية كالكوكوز مثلا في تربة ما يمكن أن تزيد من سرعة التحلل موازنة بالتربة التي لم يضف اليها الكلوكوز . إن هذا قد يكون راجعاً الى نمو وتكاثر الاحياء المجهرية على حساب الكلوكوز أولاً وعند نفاذه سوف تضطر الاحياء المجهرية الى استعمال السليلوز مصدراً للكاربون والطاقة لانه يكون مصدرها الوحيد المتوفر .

٦ ـ درجة أرتباط السيللوز مع اللكنين .

يوجد السيللوز في الأجزاء النباتية مرتبطاً بمركبات أخرى كاللكنين مثلاً وكلما كأنه درجة الأرتباط هذه أقوى كان التحلل أبطأ . ومن المعلوم أن قوة الأرتباط هذه تزيد كلما تقدم بالنبات العمر .

٧ ـ العمليات الزراعية المختلفة

أي عملية زراعية تؤدي الى زيادة أعداد الأحياء المجهرية المختلفة سوف يكون لها تأثير مباشر في عملية تحلل السيللوز .

٢ ـ النشاء **Starch**

تركيبه وتحلله **Structure and Decomposition**

النشاء مركب كاربوهيدراتي يدخل في تركيب أنسجة الخشب وسيقان النبات والدرنات والبصلات والكورمات والثمار والبذور . كما تدخل في تركيبه خلايا الكثير من الأحياء المجهرية . يتكون النشأ من ارتباط وحدات الكلوكوز بروابط كلايكوسيدية من نوع α 1,4 – و α 1,6 – .

عملية تحلله في التربة تكون كتحلل السيللوز ولكن يكون تحلله بصورة عامة أسرع حيث أن عملية كسر روابط من نوع α ـ بوساطة أنزيمات الأميليز الخارجية تكون أسهل من كسر روابط من نوع β . حوالي ٤٨ ٪ من كاربون النشاء يتحلل خلال الأسبوع الأول وحوالي ٧٢ ٪ خلال الشهر الأول . وتصل النسبة الى حوالي ٨٠ ٪ بعد ثلاثة أشهر من الأضافة .

٣ ـ الهيميسيليلوزات **Hemicelluloses**

تركيبها وتحللها **Structur and Decomposition**

يسمى الهيميسيليلوز بأسم كلايكان **glycan** ويوجد في الجدراية السميكة من خلايا السيقان والجذور والأوراق ويقسم على قسمين ، الكلايكان المتشابه

homoglycans أي الذي يتركب من سكريات أحادية متشابهة . مثال الـ xylan الذي يتركب من وحدات مرتبطة ببعضها من الزايلوز ، والـ galactan من الكالكتوز ، والـ mannan من المانوز وهكذا . أحياناً يسمى هذا القسم باسم cellulomonas . القسم الثاني يسمى الكلايكان المختلف heteroglycans أو polyuronides المتكونة من sugars + uronic acid . يتركب هذا النوع من الهيميسيليلوزات من سكريات أحادية مختلفة مع حوامض مختلفة من الـ uronic acid فيحتوي الجزيء الواحد منها على ٢ ـ ٤ انواع من السكريات واحياناً خمسة أو ستة أنواع منها اسماؤها عبارة عن مركب ينتهي باسم السكر الأكثر وجوداً فيه مثل ، glucomannan ، arabinoxylan ، arabinogalactan ، arabinoglucuronoxylan وهكذا . يشكل الزايلان اكثر مركبات الهيميسيليلوز تغلباً في بقايا النباتات وقد تتراوح نسبته بين ٥ ـ ٣٠ ٪ من الوزن الجاف للنبات . ولكنه لا يمكن أن يوجد بصورة نقية بل ترتبط به بعض السكريات الأحادية المذكورة في أعلاه .

يكون تحلل الهيميسيليلوزات في التربة أسرع من تحلل السيليلوز ولكنه أبطأ من تحلل النشاء . ولنفس الأجناس من البكتريا (وبضمنها الأكتينومايسيتات) والفطريات التي تحلل السيللوز القابلية على تحليل هذه المركبات الكاربوهيدراتية . تكون عملية التحلل بوساطة مجموعة من الأنزيمات تسمى مجتمعة بأسم مجموعة الهيميسيليوليز hemicellulases

٤ ـ الكيتيين Chitin

أ ـ تركيبه Structure

يعتبر الكيتين أكثر أنواع السكريات المتعددة ذات الوحدات الأساسية المكونة من السكريات الأمينية وجوداً في الطبيعة إن طبيعة تركيب هذا المركب الكاربوهيدراتي تعطي الكائنات المحتوية عليه قوة ميكانيكية كبيرة . يتركب الكيتين من سلسلة من وحدات الـ N- acetylgucosamine مرتبطة ببعضها بروابط كلايكوسيدية من نوع B ـ 1,4 كما في الشكل الآتي :

يوجد الكيتين في التربة عن طريق أغلفة الحشرات التي تموت داخل التربة أو ينتج في أثناء نمو الفطريات وربما بعض الأحياء الأخرى حيث يوجد مع

البروتينات بطريقة وثيقة ليكون مركباً معقداً يعمل على ثبات الكيتين ضد التحلل الأنزيمي

ب ـ تحلله **Decomposition**

التحلل الحيوي للكيتين يكون بطريقين . الطريق الأول ، عند إضافته الى تربة ما بصورة نقية ففي أول الأمر تبدأ الأحياء المجهرية المتخصصة في إنتاج أنزيمات الكيتينيز **Chitinase** الخارجية المحفزة . الخطوة الأولى هي تكسير مجاميع الأسيتيل **acetyl groups** لتكوين مركب يسمى كايتوسان **Chitosan** الذي يتكون من وحدات من الكلوكوز أمين المرتبطة بعضها ببعض بوساطة أواصر من نوع ـ **B** 1,4 ومركب آخر هو حامضة الخليك **n acetic acid** · حامض الخليك يؤخذ داخل الخلية لكي يدخل دورة الـ **T.C.A.** ليتحلل الى CO_2 وقسم منه يستعمل فيه بناء مركبات الخلية المختلفة . أما الكايتوسان فان يتكسر بفعل الأنزيمات الى أجزاء صغيرة فأصغر وفي النهاية تتكون مجموع من وحدات الكلوكوز أمين التي تؤخذ داخل الخلية لكي تستعمل مصدراً كاربون وطاقة ويتحلل قسم منها الى CO_2 .

الطريق الثاني ، أن الأحياء المجهرية المتخصصة تفرز أنزيمات على الكيتين لتحلله بنفس طريقة تحلل السيللوز أي الى n chitinotrioses ثم الى n chitinobioses وفي النهاية الى N- acetylglucosamine لكي تدخل داخل الخلية في دورة الكلايكوليز بعد أنفصال حامض الخليك ثم دورة الـ T.C.A.

تحلل الكيتين بصورة عامة أسرع من تحلل السيللوز وقد تصل نسبة المتحلل منه حتى ٦٣ ٪ بعد ٨ أسابيع من الأضافة موازنة بتحلل السيللوز الذي قد تصل نسبة المتحلل منه حوالي ٦٠ ٪ بعد نفسه المدة . نسبة النتروجين في الكيتين عالية إذ إن تحلله في التربة يعطي نيتروجيناً كافياً لسد حاجة الأحياء المجهرية والزائد منه يطرح للتربة في خلال فترة زمنية تقل عن شهرين يكون حوالي ٣٠ ـ ٦٠ ٪ من نيتروجين مادة الكيتين قد تحول الى الصورة المعدنية تحت الظروف الهوائية .

جـ ـ ميكانيكية أرتباط الكيتين بحبيبات الطين أو المادة العضوية

بأمكان حبيبات التربة المعدنية أو المادة العضوية أن تحجز أو تقيد قسماً من الكيتين المضاف الى التربة . ميكانيكية الربط تكون مشابهة للسيللوز مع وجود ميكانيكية جديدة وهي عملية الـ Protonation أي أضافة بروتون (H) الى مجاميع الـ NH_2 في الكيتوسان لتكوين مجاميع جديدة موجبة الشحنة NH_3^+ـ يمكنها أن ترتبط مباشرة مع الشحنات السالبة للطين والدبال .

د ـ الأحياء المجهرية المحللة للكيتين .

ان معظم الأحياء المجهرية المحللة للكيتين تقع ضمن مجموعة الأكتينومايسيتات وقليل جداً من البكتريا الأخرى . أما الفطريات المحللة للكيتين فتمثل أقل من ١ ٪ من المجموع الكلي للكائنات الدقيقة المحللة لهذه المادة . من أجناس الأكتينومايسيتات المحللة للكيتين *Streptomyces* ، *Nocardia* *Micromonospora* ، *Actinoplanes* والجنس *Streptosporangium* . أما أجناس الفطريات المحللة فهي *Mortierella* ، *Trichoderma* ، *Verticillium* ، *Paecilomyces* ، والجنس *Gliomastix* . بالأضافة الى ذلك هناك أجناس من البكتريا الأخرى بامكانها تحليل الكيتين

منها . *Pseudomona* ، *Bacillus* ، *Micrococcus* ، *Flavobacterium* ، *Cytophaga* ، *Clostridium* ، والجنس *Chromobacterium*

بالنظر لكون أغلب الكائنات الحية المحللة للكيتين تابعة لمجموعة الأكتينومايسيتات فقد أمكن الافادة من هذه الظاهرة في مكافحة بعض الأمراض التي تسببها بعض الأجناس الفطرية وذلك باضافة الكيتين للتربة في البيت الزجاجي لتشجيع نمو الأكتينومايسيتات التي لمعظمها القابلية على إنتاج المضادات الحيوية التي بدورها يمكن أن تقضي على الكثير من الفطريات المرضية الموجودة في التربة خصوصاً أمراض الذبول التي تسببها بعض أنواع الـ *Fusarium* كما يمكن أن تقضي الأكتينومايسيتات على الفطريات المرضية وذلك بطريقة أخرى وهي انتزاع جزء من الكيتين المكون لجدار خلية الفطريات وتحليله وبالتالي موتها .

٥ ـ المواد البكتينية **Pectines**

تركيبها وتحللها **Structures and Decomposition**

تكون المواد البكتينية أقل من ١ ٪ من الوزن الجاف للنباتات ، وهي عبارة عن مركبات متبلمرة من حامض الـ **galacturonic** مرتبط ببعضه بقوى من أسترات الميثانول **esters of methanol** تشمل المواد البكتينية على :

١ ـ **Protopectin** ـ التي تكون غير ذائبة في الماء

٢ ـ **Pectin** ـ جزئياً يكون أستر ذائب في الماء

٣ ـ **Pectic acid** ـ لا يكون أستر وذائب في الماء أيضاً .

إن الأحياء المسؤولة عن تحليل المواد البكتينية تكون عديدة وأن سرعة تحللها نوعاً ما سريعة تستغرق أسابيع الى أشهر . الأنزيمات المسؤولة عن تحللها يمكن أن تقسم على ثلاثة أقسام :

١ ـ **Protopectinase** : وهو الأنزيم الذي يحول المادة الأولى من المواد البكتينية **Protopectin** الى بكتين ذائب .

٢ ـ Pectin methyl esterase : وهذا الأنزيم يهاجم حلقات الأتصال methyl ester للبكتين ليعطي الميثانول methanol وحامض الـ Pectate

٣ ـ Polygalcturonase : إن هذا الأنزيم يهاجم الحلقة المتصلة بين وحدات الـ galacturonic acids للبكتين والحوامض البكتينية الأخرى .

٦ ـ البروتينات Proteins

أ ـ تركيبها Structures

قبل البدء بدراسة تحلل البروتينات بوساطة أحياء مجهرية التربة يجب ا نفهم أولاً كيف يتركب البروتين . البروتينات عبارة عن مجموعة من الأحماض الأمينية المرتبطة ببعضها بأواصر ببتيدية.تقسم الأحماض الأمينية على ثلاثة مجاميع من البكتريا المنتجة للأنزيمات الثلاثة الأجناس *Pseudomonas* ، *Clostridium* ، *Bacillus* ، والجنس *Erwinia*

عند رقم pH = ٧ هي ، الأحماض الأمينية المتعادلة وتشمل ، الكلايسين ، والألانين ، وفينايل ألانين ، والتايروسين ، والسيرين ، والليوسين ، والآيسوليوسين ، والسيستيين ... الخ . والأحماض الأمينية الموجبة مثل اللايسين . القسم الثالث يشمل الأحماض الأمينية السالبة وهي حامض الأسبارتك Aspartic acid وحامض الكلوتامك Glutamic acid (على الطلبة مراجعة أي كتاب في الكيمياء الحياتية لدراسة تركيب كل من الأحماض الأمينية السابقة الذكر وفهمها) .

ب ـ تحللها Decomposition

لنفرض أننا قمنا باضافة بروتين يتكون من تكرار الأحماض الأمينية ، اسبارتك أسد ـ كلوتامك أسد ـ لايسين ـ ألانين كما في الشكل الآتي : ـ

عندما تكون الظروف ملائمة من حرارة ورطوبة وعوامل أخرى تبدأ الأحياء المجهرية المتخصصة في تحليل البروتين بانتاج الانزيمات الخارجية المحفزة التي تسمى مجتمعة بأنزيمات البروتيسز Proteases لتكسير الجزئية الكبيرة من البروتين الى أجزاء تتدرج بالصغر.يقسم المختصين في موضوع أنزيمات التربة هذه المجموعة من الأنزيمات على قسمين ، الأول يسمى exopeptidases أي

```
                      OH
                      |
                      C = O
                      |
  H   H   O   H   (CH2)2  O   H   H   O   H   CH3  O
  |   |   ||  |     |     ||  |   |   ||  |    |   ||
[ N - C - C - N  -  C  -- C - N - C - C - N -  C - C -- ]n
      |                           |
      CH2                       (CH2)4
      |                           |
      C = O                       NH2
      |
      OH
```

الانزيمات التي تكسر البروتين من أطراف الجزيئة . والثاني يسمى **endopeptidases** وهي الانزيمات التي تكسر البروتين من وسط أو قريباً من وسط الجزيئة . تتكون نتيجة عملية تكسير البروتين الـ **Polypeptides** ثم الـ **Simple peptides** ثم تكون الأحماض الأمينية الحرة التي في هذه الحالة مجموعة من كل من حامض أسبارتك وحامض كلوتامك ، ولايسن ، وألانين . وهذه الأحماض الأمينية تمتصها الخلية التي تقوم بالتحلل لكي تستعمل مصدراً للكاربون والطاقة والنيتروجين .

ماذا يحدث داخل الخلية ؟

عندما تأخذ الخلية الأحماض الأمينية السابقة الذكر تجري عليها عملية إزالة الأمونيا **deamination** لتكوين أحماض عضوية . بعدها إزالة مجموع الكاربوكسيل على شكل ثاني أوكسيد الكاربون بعملية تسمى **decarboxylation**

عملية إزالة الأمونيا يمكن أن تتم تحت ظروف هوائية وتسمى بهذه الحالة **oxidative deamination** فيتحول الألانين مثلاً الى حامض البيروفك ويتحول الأسبارتك أسد الى أوكزال حامض الاستيك(OAA) وهكذا . ويمكن أن تتم تحت ظروف لاهوائية وتسمى في هذه الحالة **reductive deamination** فينتج حوامض ثنائية الكاربوكسيل **dicarboxylic acids** . إن الحوامض العضوية المتكونة في الظروف الهوائية يمكن أن تدخل دورة الـ **.T.C.A** . أو أية تفاعلات أخرى لكي تتحول الى ثاني أوكسيد الكاربون أو تطرح خارج الخلية في حالة كونها زائدة عن حاجتها .

ليس كل البروتين المضاف يتحلل الى غاز CO_2 وقد وجد من خلال التجارب أنه بحـدود ٦٠ ٪ من كاربون البروتين يتحلل خـلال الأسبوع الأول من اضافته الى التربة وتصل النسبة الى حوالي ٧٠ ٪ في نهاية الأسبوع الرابع والى حوالي ٧٨ ٪ بعد مدة ثلاثة أشهر من التحضين . الكمية الباقية من البروتين تقيد من حبيبات الطين أو المادة العضوية خصوصاً عند أرقام pH اكثر من ٧ إذ يحمل البروتين أو مركباته الوسطية شحنات سالبة أو موجبة في هذه الظروف وهي بوجود عناصر معينة ثنائية الشحنة الموجبة تكون معقدات من : طين ـ بروتين أو مادة عضوية ـ بروتين أو طين ـ بروتين ـ مادة عضوية . أو في حالة احتوائها على شحنات موجبة يمكن أن تدمص مباشرة على سطوح حبيبات الطين أو المادة العضوية .

كذلك لحبيبات الطين أو المادة العضوية القابلية على تحويل أنزيمات البروتيسز من أنزيمات نشطة الى أنزيمات غير نشطة وبالتالي تؤخر عملية التحلل . نوع الطين الموجودة في التربة له تأثير في عمليات التقييد السابقة الذكر فالتربة الحاوية

على نسبة كبيرة من طين المونتمور ليونيت تحجز كمية كبيرة من البروتين موازنة بطين الألايت مثلاً . أضف الى ذلك إنه كلما زاد وجود الأحماض الأمينية الموجبة أو السالبة الشحنة الداخلة في تركيب جزئية البروتين كلما كان حجم الكمية المحتجزة من الطين أو المادة العضوية اكبر .

٧ ـ اللكنينات Lignins

أ ـ تركيبها structures

يعد اللكنين ثالث المكونات النباتية من حيث الكمية . فكميته داخل الأنسجة النباتية تلي كميات السيللوز والهيميسيللوز . تصل التربة سنوياً كميات كبيرة من اللكنين بصورة مخلفات نباتية تهاجمها وتحللها انواع كثيرة من الأحياء المجهرية الموجودة في التربة ولكن تحللها يكون أبطأ من تحلل جميع المركبات العضوية المذكورة آنفاً. تختلف نسبة وجود اللكنين في النبات حسب نوع النبات وعمره فالحشائش الصغيرة غير الناضجة والنباتات البقولية تحوي لكنينات بنسبة ٣ ـ ٦ ٪ من وزنها الجاف في حين تحوي أشجار الغابات عن كميات كبرى تتراوح بين ١٥ ـ ٣٥ ٪ . لا يوجد اللكنين النباتي بصورة حرة بل يوجد مرتبطاً بالمواد الكاربوهيدراتية الأخرى .

ويتركب اللكنين كيميائياً من أرتباط مجموعة من الكحول التي لو تتبعنا اصلها لوجدنا أنها قد تكونت من ثاني أوكسيد الكاربون والماء . وأنواع الكحول هي ، كحول الكونيفيرايل **coniferyl alcohol** و كحول الكومأريل **Coumaryl alcohol** وكحول السرنجيل **Syringyl alcohol**

ب ـ تحللها Decomposition

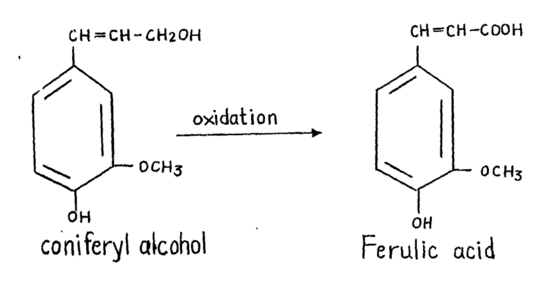
لو أضفنا لكنيناً نقياً الى تربة ما وتركناه في ظروف ملائمة ودرسنا خطوات تحلله لوجدنا أن الخطوة الأولى هي نفسها كما في السيللوز والبروتين وهي تكون مجموعة من الأنزيمات المتخصصة التي تسمى مجتمعة بأسم لبكنيز **lignases** وهي عبارة عن أنزيمات خارجية محفزة تنتجها أحياء مجهرية متخصصة في تحليل اللكنين . وبوساطة هذه الأنزيمات تتكسر جزئية اللكنين الى مجموعة كبيرة من أنواع الكحول الثلاثة المذكورة آنفاً . وكل نوع من انواع الكحول يمكن ان يبقى في التربة أو يؤخذ الى داخل الخلية المحللة لكي تستمر في تحليله وتحرير الكازبون والطاقة اللازم لنموها وتكاثرها .

يقسم المختصون في حقل أنزيمات التربة الأنزيمات التي تقوم بتحليل اللكنين أحياناً على ثلاثة أقسام هي ،

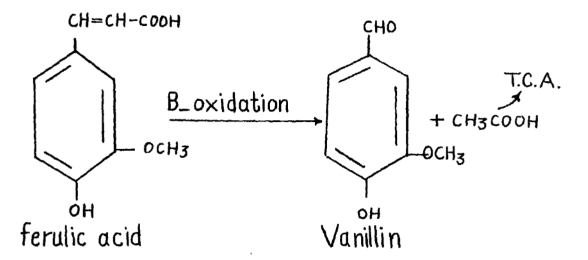
١ ـ **Phenol oxidases** أو مؤكسدات الفينول ، هذه المجموعة من الأنزيمات تؤكسد المركبات الآروماتيكية (العطرية) المحتوية على واحد أو أثنين من الفينولات الهيدروكسيلية ،
٢ ـ **Laccases** ، هذا النوع من الأنزيمات تؤكسد المركبات الآروماتيكية المحتوية على اكثر من واحد من المجاميع الهيدروكسيلية فقط .
٣ ـ **Peroxidases** ، هذا النوع من الأنزيمات يمكن أن تؤكسد الجزئيات الآروماتيكية أيضاً ولكن بوجود بيروكسيد الهيدروجين (H_2O_2)

الآن لو تتبعنا تحل أحدى الكحولات المتكونة داخل الخلية ولنفرض أنه كان الـ **coniferyl alcohol** لوجدنا أن تحلله يتم وفق الخطوات الآتية ،

١ـ اكسدة مجموعة الكحول ($-CH_2OH$) لتكوين الـ ferulic acid .



٢ ـ عملية إزالة سلسلة الكاربون المتصلة بحلقة البنزين بطريقة الـ B- oxidation لتكوين حامض الخليك acetic acid مع مركب يسمى Vanillin .



٣ ـ ازالة مجموعة الـ CH_3 **demethylation** من مركب الـ **Vanillin** لتكوين مركب يسمى **3,4- dihydroxybenzaldehyde**

CHO

demethylation →

OCH_3

OH

CHO

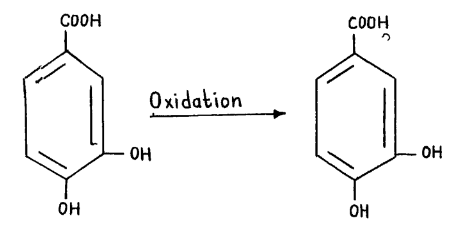
$+ CH_2OH$ → T.C.A.

OH

OH

Vanillin 3, 4-dihydroxybenzaldehyde

٤ ـ اكسدة مجموعة الالديهايد (-CHO) الى **COOH** لتكوين مركب يسمى **Protocatechuic acid** .

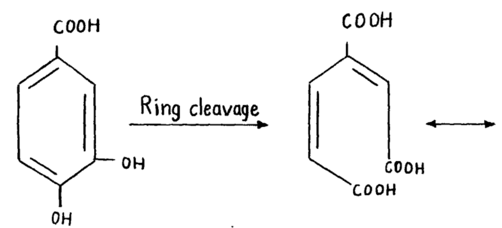


3, 4-dihydroxybenzaldehyde protocatechuic acid

من الممكن ان تسبق عملية إزالة مجموعة الميثيل من مركب الـ **Vanillin** عملية اكسدة مجموعة الالديهايد فيتكون مركب يسمى **Vanillic acid**

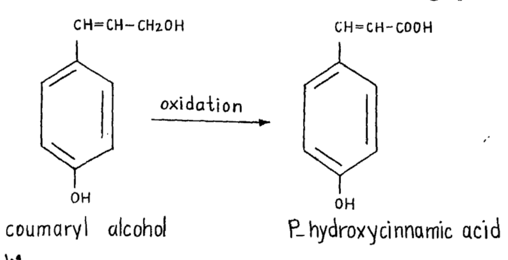
الذي يتحول الى **Protocatechic acid** بعملية اكسدة مجموعة الـ (‎- CHO) .

٥ ـ انشقاق حلقة البنزين في المنطقة بين مجموعتي الـ **OH** بطريقة الـ **Ortho ring cleavage** بوساطة مجموعة من الانزيمات تسمى **dioxygenase** اي تعمل بوجود الاوكسجين فتتكون نتيجة ذلك حوامض عضوية جميعها تدخل في دورة الـ **.T.C.A** لكي تستعمل مصدراً للكاربون والطاقة إذ تتحلل في آخر الامر الى غاز ثاني اوكسيد الكاربون .



لو تتبعنا تحلل الكحول المسمى **coumaryl** الناتج من تحلل الكنين لوجدنا انه يتحلل على وفق الخطوات الآتية : ـ

١ ـ اكسدة مجموعة الكحول **CH_2OH** ـ الداخلة في تركيب الكحول لتكوين مركب يسمى **P- hydroxycinnamic acid**



٢ ـ اضافة مجموعة هيدروكسيل (OH-) الى حلقة البنزين لتكوين مركب يسمى caffeic acid وتسمى العملية hydroxylation .

٣ ـ إزالة سلسلة الكاربون المتصلة بحلقة البنزين بطريقة الـ B- Oxidation لتكوين حامض الخليك acetic acid مع مركب 3,4- dihydroxybenzaldehyde

CH=CH-COOH → (Hydroxylation) → CH=CH-COOH, OH

P-hydroxycinnamic → caffeic acid

٤ ـ اكسدة مجموعة الالديهايد (CHO-) الى COOH لتكوين مركب يسمى Protocatechuic acid يتحلل بنفس الطريقة السابقة .

CH=CH-COOH → (B-oxidation) → CHO + CH_3COOH → T.C.A.

caffeic acid → 3,4-dihydroxybenzaldehyde

إن تحلل اللكنين بوساطة احياء التربة المجهرية يكون ابطأ من تحلل جميع المركبات العضوية المذكورة آنفاً. فلو اضيف اللكنين بصورة نقية الى تربة ما لاحتمل أن يتحلل بحدود ٤٠ ٪ منه الى CO_2 بعد مدة ثلاثة اشهر. اما الباقي فيبقى في التربة بصورة فينولات حرة او مرتبطة بحبيبات التربة والدبال او بصورة خلايا حية. الصورة تختلف في حالة اضافة بقايا نباتات تحوي على نسبة عالية من اللكنين المرتبط بالمركبات العضوية الاخرى فقد لوحظ في احدى التجارب ان حوالي $\frac{2}{3}$ من الوزن الجاف لبقايا سيقان الذرة قد تحللت خلال ٦ أشهر ولكن $\frac{1}{3}$ اللكنين المكون لها فقط قد تحلل خلال هذه المدة. في هذه التجربة كانت نسبة اللكنين في سيقان الذرة حوالي ١٥ ٪. تحلل ثلث هذه النسبة فقط معناه بقاء ١٠ ٪ من اللكنين من دون تحلل. وهذه الكمية كانت في الثلث الباقي من سيقان الذرة اي اصبحت نسبة اللكنين في بقايا سيقان الذرة بعد ٦ أشهر بحدود ٣٠ ٪. وخلال هذه الفترة من التحضين وجد انه قد حدثت تحويرات في تركيب اللكنين نفسه منها، إزالة مجاميع الميثيل ومجاميع السلسلة المستقيمة المتصلة بحلقة البنزين مع زيادة في مجاميع الهيدروكسيل والكاربوكسيل.

حـ ـ العوامل التي تؤثر في عملية تحلل اللكنين :

جميع العوامل المذكورة آنفاً وهي التي تؤثر في عملية تحلل اي مركب عضوي مضاف الى التربة فإنها تؤثر في تحلل اللكنين. اضف الى ذلك عوامل مهمة اخرى وهي نوع النبات وعمره. فمثلاً اللكنين الموجود في بقايا الشوفان وسيقان الذرة والجت يكون تحلله اسرع من الانواع الموجودة في تبن الحنطة او اوراق الاشجار.

إن هذا الاختلاف يرجع بصورة رئيسة الى القوى التي تربط اللكنين بالمركبات العضوية الاخرى داخل النبات. وكذلك لكنين النباتات الصغيرة السن يتحلل اسرع من لكنين النباتات المتقدمة في العمر للسبب السابق ذكره.

د ـ الاحياء المجهرية التي تحلل اللكنين :

اجناس الفطريات التي تحلل اللكنين يمكن ان تقع بصوره رئيسة ضمن الفطريات البازيدية **basidiomycetes** ومنها :

Agaricus , Armillaria, Clavaria, Clitocybe, Coprinus, Cortinellus, Ganoderma, Lenzites, Marasmius, Mycena, Panus. Pholiota. Stereum, Ustulina Schizophyllum, Polystictus, Collybia, Fomes, Polyporus, Poria, Pleurotus.

أما بالنسبة للفطريات الأخرى فنادراً ما يمكنها أن تحلل اللكنين ولكن من الممكن لبعضها أن تستعمله مصدراً للكاربون والطاقة مثل الأجناس ***Aspergillus*** ، ***Fusarium*** ، والجنس ***Penicillium*** .

كما يمكن لبعض أجناس البكتريا الهوائية أن تحلل اللكنين ولكن بدرجة محدودة منها بعض الأنواع التابعة للأجناس : ***Pseudomonas*** ***Flavobacterium*** ، ***Xanthomonas , Arthrobacter , Micrococcus*** .



دبال التربة Soil Humus

الدبال Humus

تعد مادة الدبال من مكونات التربة المهمة التي تتكون كمحصلة للتحلل الحيوي لبقايا النباتات والحيوانات والخلايا الميتة وبعض المواد العضوية التي تنتجها أحياء التربة المختلفة . بصورة عامة حوالي ١٥ ـ ٣٠ ٪ من كاربون المخلفات العضوية تبقى في التربة بعد سنة من الأضافة . قسم منها يكون موجوداً في خلايا الأحياء المجهرية المقاومة والقسم الاخر موجود في مادة الدبال . أما القسم الثالث فيكون موجوداً على شكل معقدات مع جزء الطين من التربة .

دبال التربة عبارة عن خليط من مركبات عضوية متعددة ولكن الجزء الأكبر (حوالي ٨٠ ٪) يكون بصورة حامض الدبال (humic acid) وحامض الفولفيك (fulvic acid) . وحامض الدبال عبارة عن مادة لونها أسود مائل الى البني تذوب في القاعدة (NaOH) وتترسب في الحامض (HCl) .

حامض الفولفيك يشمل المادة التي تذوب في القاعدة ولا تترسب في الحامض . والمادة الأخيرة تتكون من مركبات عضوية ذات اوزان جزيئية صغيرة نوعا ما ومن سكريات متعددة ذات أوزان جزيئية كبيرة . أما الجزء من الدبال الذي لايذوب في القاعدة فيسمى هيومين (humin). قد تصل نسبة السكريات المتعددة في مادة الدبال بين ١٠ ـ ٣٠ ٪

ميكانيكية تكون الدبال في التربة Humification

ان ميكانيكية تكون الدبال في التربة هي بالحقيقة عبارة عن محصلة لكل مما يأتي :

١ ـ بينا سابقاً في تحلل المركبات العضوية المختلفة ذات الأصل النباتي وذكرنا انه في أثناء تحلل اللكنين سوف تتكون مجموعة كبيرة من الفينولات التي يؤخذ قسم منها داخل الخلايا المسؤولة عن عملية التحلل لكي يستعمل مصدراً للكاربون والطاقة . الزائد عن حاجة الخلية سوف يبقى أو يطرح الى التربة .

بعض الفينولات المتكونة في أثناء تحلل اللكنين التي يمكن أن تبقى في التربة موضحة في جدول ٩

جدول (٩) : بعض الفينولات المتكونة في أثناء تحلل اللكنين بواسطة فطريات التربة

1– P– Hydroxybenzaldehyde	7– Vanillin
2– P– Hydroxybenzoic acid	8– Vanillic acid
3– Coniferaldehyde	9– Guaiacylglycerol
4– Ferulic acid	10– Protocatechuic acid
5– P– Hydroxycinnamylaldehyde	11– Syringic acid
6– P– Hydroxycinnamic acid	

٢ ـ قسم من الأجناس الفطرية وبصورة خاصة ***Humicola*** ، ***Epicoccum*** ، ***Cladosporium*** ، ***Gliocladium*** ***Alternaria*** ، ***Trichoderma*** ، ***Aspergillus*** ، ***Helminthosporium*** تكون مجموعة كبيرة من الفينولات (جدول ١٠) . وهذه الفينولات قد يرتبط بعضها ببعض لتكون مواد سوداء شبيهة بدبال التربة تسمى ميلانين **(melanin)** . تتكون هذه المادة داخل الخلية الفطرية . الزائدة عن حاجتها من الفينولات أو من الميلانين نفسه سوف يطرح للتربة .

٣ ـ أشرنا سابقاً الى قسماً من السيللوز ، والنشاء ، والكيتين ، والبروتين أو مركباتهما الوسطية الناتجة من التحلل الحيوي يمكن أن تبقى في التربة لأنها اما زائدة عن حاجة الخلية المسؤولة عن التحلل أو أنها تكون بعيدة عن متناولها .

٤ ـ معظم البكتريا تكون سكريات متعددة حول نفسها تسمى الطبقة اللزجة أو الكابسول . الزائد عن حاجة الخلية من هذه السكريات المتعددة يمكن أن تطرح للتربة .

جدول (١٠) بعض الفينولات التي تكونها بعض أجناس فطريات التربة

حوامض	تولونيات (Toluenes)	غيرها
3,5- Dihydroxy -4- methyl- benzoic	Orcinol	Resorcinol
2,4,6- Trihydroxybenzoic	2,4- Dihydroxy	Pyrogallol
2,3,4- Trihydroxybenzoic	2,6- Dihydroxy	5- Methylpyrogallol
3,5- Dihydroxybenzoic	2,3,5- Trihydroxy	Phloroglucinol
2,4- Dihydroxybenzoic	2,4,6- Trihydroxy	
2,5- Dihydroxybenzoic	2,4,5- Trihydroxy	
2,6- Dihydroxybenzoic	P- Cresol	
P- Hydroxycinnamic	m- Cresol	
P- Hydroxybenzoic		
m- Hydroxybenzoic		
Protocatechuic		
Cresorsellinic		
Orsellinic		
6- Methylsalicylic		
Salicylic		
Caffeic		
Gallic		

ان المركبات العضوية المذكورة في النقاط الأربع أعلاه سوف لاتبقى معظمها في التربة بصورة حده وانما ترتبط مع بعضها بتفاعلات كيميائية فيزيائية (physico - chemical reactions) التي هي بالحقيقة عبارة عن تفاعلات تكثيف condensation reactions بين المركبات العضوية العطرية الناتجة من تحلل اللكنين مع الكاربوهيدرات أو مركباتها الوسطية ومع الأحماض الأمينية الناتجة من تحلل البروتين ... الخ .

ان دور الأحياء المجهرية في هذه التفاعلات حسب نظرية kononova أقل بكثير من دورها في تحليل وتكوين المركبات العضوية نفسها ولكن يمكن القول أنه من دون الأحياء المجهرية لاتتم عملية الأرتباط لأنها يجب أن تكون بفعل مجموعة من الأنزيمات التي تسمى phenolases أو Peroxidases التي تكونها وتفرزها هذه الأحياء . فبوجود الأوكسجين وهذه الأنزيمات سوف تتحول الفينولات الحاوية على مجموعتين من الهيدروكسيل في حلقة البنزين الى quinones . والمركبات الأخيرة

شديدة التفاعل اذ تتفاعل فيما بينها لتكوين مركبات معقدة . وترتبط معها المركبات الفينولية الأقل تفاعلاً والمركبات العضوية الحاوية على مجموعات أمين amino groups كالببتيدات والأحماض الأمينية والسكريات الأمينية الحرة أو الموجودة داخل تركيب السكريات المتعددة بعملية كيمياوية تسمى Nucleophylic addition لتكوين مركبات اكثر تعقيداً . وهذه المركبات المعقدة سوف ترتبط مع الميلانين ومع مادة الدبال الموجودة أصلاً في التربة لتبني دبالاً جديداً الدبال القديم وهكذا سوف يبنى بهذه الطريقة دبال التربة .

نظريات أخرى في تكوين دبال التربة

هناك نظريات أخرى في كيفية تكوين دبال التربة حسب اراء بعض الباحثين . بالنظر لأختلاف ارائهم عن رأي Kononova في بعض الأمور وجدنا من الضروري ذكر قسم منها بأختصار .

أقدم هذه النظريات هي نظرية Waksman التي تنص على أن مادة الدبال تتكون بصورة رئيسة من التداخل أو التفاعل بين اللكنين من النبات والبروتين من الأحياء المجهرية لتكون نواة الدبال Humus nucleus التي بدورها يمكن أن ترتبط بالدهون والشموع والهيميسيلليلوزات والمواد الأخرى المقاومة للتحلل حسب وجهة نظر Waksman لتكون مادة الدبال Humic matter ان الدبال المتكون حسب رأي الباحث هو حالة غير ثابتة تتأثر بالعوامل الفيزياوية والكيمياوية والحيوية للتربة . هذه النظرية تنص على أن نوع اللكنين الذي يتركب منه النبات يؤثر تأثيراً مباشراً في طبيعة الدبال المتكون وأن مادة الهيومين Humin هي أول مرحلة من مراحل تكون الدبال . يتبعها التحلل الحيوي البطيء لمادة الهيومين الى حامض الدبال humic acid وحامض الفولفك fulvic acid .

أما نظرية Swaby and Ladd فأنها تركز على دور الأحياء المجهرية بصورة اكبر في تكوين الدبال حيث ذكروا أن جزيئة الدبال تتكون من فينولات ، وسكريات ، وأحماض أمينية ، ومركبات عضوية أخرى يرتبط بعضها ببعض بفعل الأنزيمات عن طريق تكوين الجذور الحرة free radicals .

وأخيراً نظرية التركيب الحيوي للدبال The Microbial synthesis of Humus

التي تنص على أنه في البداية سوف تستعمل الأحياء المجهرية بقايا النباتات كمصدر للكاربون والطاقة حيث تحللها الى أجزاء متدرجة في الصغر وهي بدورها تؤخذ الى داخل الخلية المحللة التي سوف تستعمل قسماً منها والقسم الاخر سوف تربطه ببعضه ليكون مركبات هيومية humin ذات أوزان جزيئية عالية . وعند موت هذه الخلايا سوف يخرج الهيومين خارج الخلية ويتحلل القسم الأكبر منه الى حامض الدبال humic acid وحامض الفولفك fulvic acid .

ونحن بدورنا نقول ان جميع هذه النظريات يمكن أن تتداخل مع بعضها في تكوين دبال التربة لأن جميعها واقعية ومقبولة .

الخواص العامة لدبال التربة

١ ـ للدبال سعة تبادلية كاتأيونية عالية (CEC) تتراوح بين ٢٠٠ ـ ٣٠٠ مليمكافيء / ١٠٠ غرام . ان هذا يرجع الى الزيادة في كمية المجاميع النشطة في التبادل الكاتأيوني مثل مجاميل الكربوكسيل(COOH -)والهيدروكسيل (OH-) وبهذا تزداد قابلية الدبال على التبادل الكاتأيوني وأدمصاص الكاتأيونات المهمة مثل الأمونيوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم والحديد وعناصر أخرى . لهذه الخاصية أهمية كبيرة اذ يعد سماداً يتحلل ببطء ليعطي هذه العناصر الغذائية المهمة لتغذية النبات .

٢ ـ لمادة التربة الدبالية (العضوية) قابلية عالية لأمتصاص الماء والأنتفاخ .

٣ ـ للدبال تأثير أصلاحي في تنظيم حموضة التربة Soil buffer capacity

٤ ـ تحسين تركيب التربة وبالتالي تحسين تهويتها ونفاذية الماء والجذور .

٥ ـ مادة عضوية سوداء تمتص الحرارة وتساعد على الزراعة الربيعية المبكرة .

٦ ـ قسم من المواد التي يتركب منها الدبال لها تأثيرات مشجعة لنمو النبات (منظمات النمو) .

٧ ـ يساعد الدبال على نمو الكثير من المجاميع المجهرية وبالأخص الأكتينومايستيات التي تفرز مضادات حيوية . والفطريات التي يقضي قسم منها على الأحياء المسببة للأمراض وبذلك فهو يساعد في المكافحة الحيوية .

٨ ـ يساعد الدبال على التقليل أو إبطال سمّية بعض المواد السامة المتكونة طبيعياً في التربة أو المضافة اليها بقصد المكافحة .

٩ ـ ليست المواد العضوية المكونة للدبال في حالة توازن بل تكون في حالة تغير ديناميكي مستمر إذ تتزايد نسبها بأستمرار من ناحية وذلك برجوع مواد عضوية خام جديدة الى التربة ، وتتناقص من ناحية أخرى بتأثير عمليات الأنحلال الحيوية .

١٠ ـ تكّون المادة العضوية الدبالية مع المعادن الطينية clay minerals مركبات معقدة كالمعقدات الغروية colloidal complexes.

تحلل الدبال Humus Decomposition

المفهوم الذي يذهب الى أن الدبال هو آخر مرحلة من التحلل هو مفهوم خطأ حيث أنه يتحلل ولكن تحلله بطيء جداً موازنة بتحلل المركبات العضوية النقية الداخلة في تركيبه . نسبة تحلل الدبال قد درست من كثير من الباحثين بقصد معرفة كمية النيتروجين الجاهز التي يمكن أن تضاف الى التربة سنوياً وأصلها من تحلل الدبال ووجد أنها قد تصل الى حد ٥ ٪ . فلو كانت لدينا تربة تحوي ٢ ٪ مادة عضوية فكمية النيتروجين التي يمكن أن تضاف لدونم من التربة بعد سنة تحسب كما يأتي : ـ

نفرض أن وزن دونم من التربة على عمق ١٥ سم هو ٥٠٠,٠٠٠ كغم وزن الدبال في دونم من التربة = $\frac{٢}{١٠٠}$ × ٥٠٠,٠٠٠ = ١٠,٠٠٠ كغم نسبة الكاربون الى النتروجين في الدبال تتراوح بين 1:0 الى ١٥ : ١ وكمعدل ١٠ : ١ .

نسبة الكاربون في الدبال تتراوح بين ٥٥ ٪ ـ ٦٠ ٪ وكمعدل ٥٧ ٪ فنسبة النتروجين في الدبال كمعدل هي بحدود ٥,٧ ٪

كمية النتروجين في الدبال = $\frac{٥,٧}{١٠٠}$ × ١٠,٠٠٠ = ٥٧٠ كغم / دونم نسبة المتحلل منه كمعدل بحدود ٥ ٪ .

$\frac{٥}{١٠٠}$ × ٥٧٠ = ٢٨,٥ كغم نيتروجين / دونم .

إن هذا يعني ان كمية النيتروجين الجاهز في تربة تحوي ٢ ٪ مادة عضوية دبالية سوف يزداد في السنة الأولى بحدود ٢٨,٥ كغم لكل دونم على فرض أنه لا

يوجد غسل للنيتروجين ولا يوجد تطاير ولا أمتصاص من النباتات النامية أو الأحياء المجهرية المحللة .

ويمكن القول بصورة عامة أن الدبال المتكون حديثاً يكون تحلله أسرع من الدبال القديم ، كذلك الدبال (الميلانين) الذي من أصل فطري يكون تحلله اسرع وقد تتراوح نسبة تحلله بين ٥ ـ ٣٠ ٪ خلال مدة ستة أشهر .

الفَصل السَّادِس

« التحولات الحيوية للنيتروجين »

Biological Transformations of Nitrogen

دورة النيتروجين : Nitrogen Cycle

يعد النيتروجين اكثر العناصر الغذائية عرضة للتحولات المايكروبية ويدخل مكوناً رئيساً في بناء جزيئات البروتين التي تعتمد عليها صور الحياة المختلفة اذ ان النيتروجين هو احد المكونات الاساسية لبروتوبلازم النباتات والحيوانات والكائنات الحية الدقيقة . وبما ان النيتروجين يكون عرضة للفقدان عن طريق غسله من التربة **Leaching** أو عن طريق التطاير **Volatilization** لذا يجب المحافظة عليه بالطرق التي تقلل من فقدانه وينبغي ابقاؤه بكميات مناسبة . وبالنظر لتلك الاهمية بالنسبة للنيتروجين خصوصاً في تغذية النبات فلقد اخذه المهتمون بدراسة احياء التربة بنظر الاعتبار .

إن اكثر النيتروجين في الطبيعة يوجد على هيئة غاز في جو الارض نسبته حوالي (٨٠ ٪) الا انه فاقد للنشاط الكيمياوي ويعدّ غازاً خاملاً لا تفيد منه الاحياء واغلب اشكال الحياة . ان النباتات والحيوانات والاحياء الدقيقة تعتمد على النيتروجين من اجل التغذية . لذا لا تفيد تلك الكائنات منه ما لم يتم تحويله الى نيتروجين متحد **Combined nitrogen** أو نيتروجين مثبت ، كاتحاده مع الهيدروجين لتكوين الامونيا والامينات او مع الاوكسجين لتكوين النترات .

إن معظم النيتروجين في التربة يوجد على هيئة مركبات عضوية مثل البروتين الذي يحتوي على (١٦ ٪) نيتروجين . والاحماض النووية **Nucleic acids** والقواعد النيتروجينية البيورينات والبيريميدينات **purines & pyrimidines** السكريات الامينية **Amino Sugars** مثل : **Galactosamine** **Glucosamine** واليوريا وغيرها .

وتعدّ هذه المواد غير قابلة للامتصاص من النبات الا عند تحويلها الى مركبات نيتروجينية لا عضوية (معدنية) فيحولها النبات بدوره الى مركبات نيتروجينية عضوية كالاحماض الامينية والاحماض النووية التي تعدّ المركبات النيتروجينية الاساسية لمكونات الخلية .

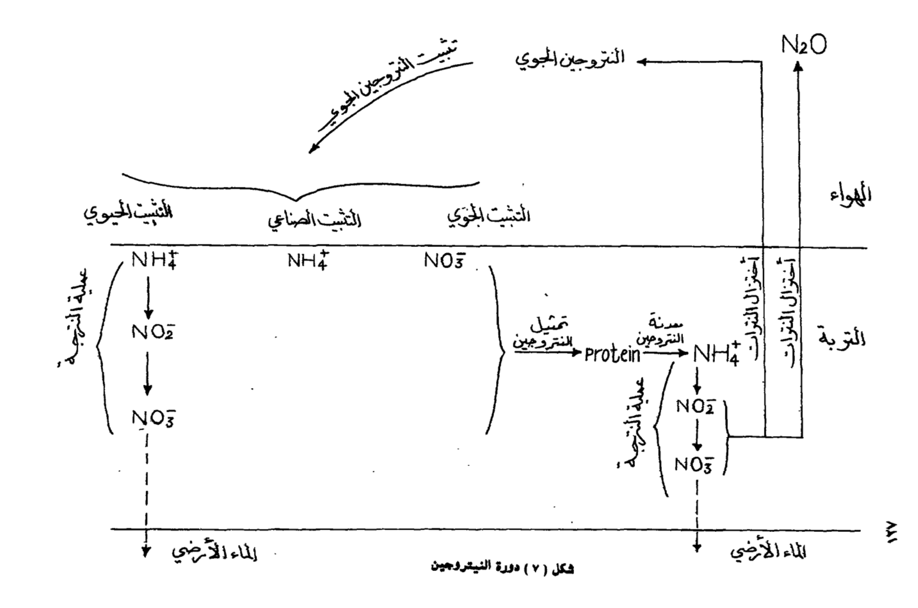
إن المادة العضوية النيتروجينية النباتية تعدّ المصدر الوحيد لنيتروجين الحيونات التي تتغذى على النباتات ، والحيونات وبدورها تطرح المركبات النيتروجينية الى التربة باشكال مختلفة فاللافقريات تطرح النيتروجين على هيئة امونيا والزواحف والطيور تطرحها على هيئة حامض اليوريك **Uric acid** واللبائن تطرحها على هيئة يوريا **Urea** . تختلف نسبة النيتروجين في المواد العضوية الموجودة في التربة فاغلب البقايا النباتية والحيوانية المضافة الى التربة تحتوي على نسبة معينة من البروتين وقد ترتفع هذه النسبة في بعض النباتات كالبقليات وفي بعض مخلفات الحيوانات .

بتأملك دورة النيتروجين (شكل ٧) تجد تحولات عديدة يتعرض لها النيتروجين وهي تحدث في وقت واحد وتكون مشتملة على مركبات عضوية ومركبات غير عضوية (معدنية) واحياناً مركبات متطايرة وعلى ضوء ذلك يمكن ملاحظة الآتي : ـ

- ان عنصر النيتروجين من خلال مروره في دورة النيتروجين يتحرك باتجاهات مختلفة بفعل الميكروبات اذ يتحوّل جزء بسيط من مخزون النيتروجين الغازي في الجو (N_2) الى مركبات عضوية بوساطة بعض الميكروبات التي تعيش بصورة حرة أو بوساطة بعض الميكروبات التي تتعايش مع بعض النباتات لامدادها بما تحتاجه من النيتروجين .

- يستخدم النيتروجين الموجود في البروتينات والاحماض الامينية المكونة لانسجة النباتات بوساطة الحيوانات إذ يتحول النيتروجين داخل اجسام هذه الحيوانات الى مركبات بسيطة ومركبات معقدة .

- عندما تتعرض اجسام الحيوانات والنباتات الميتة للتحلل بوساطة الميكروبات فانها تؤدي الى انطلاق الامونيا التي تستخدمها النباتات او تؤكسد الى نترات في الظروف المناسبة .



شكل (٧) دورة النيتروجين

- قد تفقد ايونات النترات (NO_3^-) بوساطة عملية الغسل من التربة أو تستخدم في تغذية النباتات ، أو تختزل مرة اخرى الى اوكسيد النتروز (N_2O) أو نيتروجين غازي (N_2) أو امونيا (NH_3) الذي يجد طريقة سواء على صورة اوكسيد النيتروز أو نيتروجين غازي أو أمونيا الى الغلاف الجوي مكملاً بذلك دورة عنصر النيتروجين في الطبيعة .

إن أهم عمليات تحول صور النيتروجين خلال الدورة هي معدنة النيتروجين Nitrogen mineralization حيث يتم خلال هذه العملية تحلل المخزون الكبير من المواد العضوية المعقدة في التربة وتحويلها الى ايونات غير عضوية (معدنية) كالامونيا والنترات التي تستخدم من النباتات ، كما ان معدنة النيتروجين هذه تتسبب في تحلل كل من البروتينات ومتعدد الببتيدات polypeptides والاحماض الامينية والاحماض النووية . (RNA, DNA) والمواد العضوية الاخرى . وعلى العكس من عملية معدنة النيتروجين فان هناك عملية تمثيل النيتروجين Nitrogen Immobilization اذ تعمل على تكوين مكونات بروتوبلازم الخلايا المعقدة من الامونيا والنترات . ان استمرار عمليتي معدنة المواد العضوية النيتروجينية وتمثيل النيتروجين اللاعضوي بوساطة الكائنات الحية الدقيقة تحدث في وقت واحد .

إن وجود صور النيتروجين على هيئة نترات يكون عرضة للفقدان من التربة بوساطة الغسل الى الماء الارضي بعيداً عن منطقة جذور النباتات ، وبما ان النباتات تستخدم النيتروجين في الغالب على هيئة امونيا أو نترات فان غسل النترات يعدّ خسارة في كمية النيتروجين المستهلكة من النباتات . كذلك فان النترات يمكن ان تفقد ايضاً من التربة نهائياً خلال حدوث عملية انطلاق النيتروجين الى الجو ، حيث ان الناتج النهائي لهذه العملية تتمثل في النيتروجين الغازي (N_2) الذي لا تتمكن معظم الكائنات الحية الراقية من استخدامه .

كما ان صور فقدان النيتروجين يعني استنزاف لمخزون التربة منه وهذا ينعكس سلبياً على الانتاج الزراعي . وان فقدان النيتروجين يقابل بعمليات تحفظ التوازن في مركبات عنصر النيتروجين ، من هذه العمليات عملية تثبيت النيتروجين ، Nitrogen Fixation حيث ان غاز النيتروجين يكون كما ذكرنا سابقاً خاملاً ولا تتمكن النباتات والحيوانات ومعظم الكائنات الحية الدقيقة من استخدامه .

ولكن هناك بعض الميكروبات تكون نشطة في استخدام غاز النيتروجين كمصدر لعنصر النيتروجين في اثناء معيشتها بصورة حرة كما هي الحال في بكتريا *Azotobacter* أو في اثناء معايشة بعض الميكروبات لبعض النباتات كما هي الحال في بكتريا ***Rhizobium*** والنباتات البقلية . ومن خلال هذه العمليات يحدث تراكم مركبات عضوية نيتروجينية داخل الخلايا الميكروبية السابقة الذكر ، وبعد موت الميكروبات وتحلل خلاياها داخل التربة فان النيتروجين المثبت داخلها يدخل مرة ثانية في دورة النتيروجين وتتم معدنته ضمن عمليات معدنة المركبات العضوية في التربة .

تحلل الاحماض النووية :

إن الاحماض النووية تأتي بالدرجة الثانية بعد البروتينات من حيث اهميتها كمواد نيتروجينية تستخدم في تغذية الميكروبات . توجد الاحماض النووية في الانسجة النباتية والحيوانية وفي بروتوبلازم الخلايا . ان تحلل الاحماض النووية ومصيرها تعدّ من الامور المهمة في خطوات معدنة النيتروجين في التربة . ان الانسجة في الكائنات الحية تحتوي غالباً على نوعين من الاحماض النووية هما : ـ

RNA = Ribonucleic acid

DNA = Deoxyribonucleic acid

يتكون كل حامض من الحوامض المذكورة في اعلاه من نيوكليتيدات عديدة **Neucleotides** تتكون نتيجة بلمرة وحدات النيوكليتيدات الاحادية ، **Mononucleotides** وهذه الوحدات التركيبية الاحادية تتكون من قاعدة بيورين **Purine** أو بيريميدين **Pyrimidine** وسكر وفوسفات .

يدخل سكر الرايبوز **Ribose** في تركيب حامض الـ **RNA** في حين يدخل سكر الـ **Deoxyribose** في تركيب حامض الـ **DNA** . أما قواعد الادنين **Adenine** والكوانين **Guanine** فتوجد في جزيئات كل من الـ **RNA** و **DNA** وهذه تابعة لقواعد البيورين **Purine** . اما بالنسبة لقواعد البيريميدين **Pyrimidine** فتوجد السايتوزين **Cytosine** في حامض الـ **DNA** و **RNA** واليوراسيل **Uracil** في حامض الـ **RNA** ، كذلك الثايمين **Thymine** يوجد في الحامض النووي **DNA** . إن قواعد البيورين والبيريميدين مرتبطة بطريقة او باخرى في التربة كوجود الاحماض النووية نفسها . ومن الملاحظ من خلال تجارب الباحثين ان الاحماض النووية وقواعد البيورين والبيريميدين ومشتقاتها تتحلل بسهولة داخل التربة في حالة اضافتها بصورة نقية كما يمكن ان تحتجزها المعادن الطينية في التربة وفي هذه الحالة فإن تحللها من الميكروبات يكون صعباً .

إن التحلل الاولي للاحماض النووية يتم بتجزأتها الى اجزاء صغيرة وهذه تتحول بدورها الى نيوكليتيدات وحيدة ، **Mononucleotides** . ان العوامل المساعدة في التحلل هي بعض الانزيمات فينشط انزيم **Ribonuclease** على الحامض النووي **RNA** ، في حين ينشط انزيم **Deoxyribonuclease** على الحامض النووي **DNA** أو يتم التحليل بوساطة انزيمات اخرى ، حيث يتم بوساطتها التحلل المائي لكلا الحامضين النووين التي يطلق عليها **Nucleases** .

إن انزيمات **Ribonuclease** الخارجية تتكون بوساطة بعض الاحياء المجهرية ، فتفرز من بعض الانواع التابعة للاجناس البكتيرية التالية ؛
Pseudomonas, Mycobacterium, Bacillus . وبعض الانواع التابعة للاجناس الفطرية التالية ؛

Mucor, Rhizopus, Cephalosporium, Aspergillus Fusarium, Penicillium .

في حين تفرز انزيمات الـ Deoxyribonuclease من بعض الانواع البكتيرية التابعة للاجناس : ***Bacillus,*** و ***Arthrobacter*** و ***Pseudomonas,*** ***Clostridium*** والانـــواع الفطـريـــة التابعـــة للاجنـــاس : ***Fusarium,*** ***Cladosporium***. كما ان هناك اجناساً بكتيرية عديدة لها القابلية على افراز تلك الانزيمات .

عند تحلل الاحماض النووية فان الوحدات الناتجة من النيكلوتيدات الاحادية لا تتماثل او تتشابه مع بعضها من حيث التركيب الكيمياوي حيث يحتوي كل منها على احدى قواعد البيورين والبيريميدين وعلى الرايبوز والديوكسي رايبوز deoxyribose بالاضافة الى الفوسفات ، في حين تتشابه النيكلوتيدات الاحادية مع بعضها في المصدر النهائي على الرغم من اختلاف القاعدة النيتروجينية المحتوية عليها حيث ان الميكروبات تحللها للحصول على الطاقة والكاربون والنيتروجين اللازم للنمو وعند تكون النيكلوتيدات الاحادية فأن استمرار التحلل يؤدي الى التخلص من مجموعة الفوسفات حيث يتكون مركب من قاعدة البيورين أو البيريميدين المرتبطة بالسكر . أما الخطوة النهائية لتحلل الاحماض النووية فتتمثل في فصل قواعد البيورين او البيريميدين عن جزيء السكر كما يأتي : ــ

[base – sugar – p]$_n$ → base – sugar – P → base – Sugar

Nucleic acid . Mononuleotide

↓

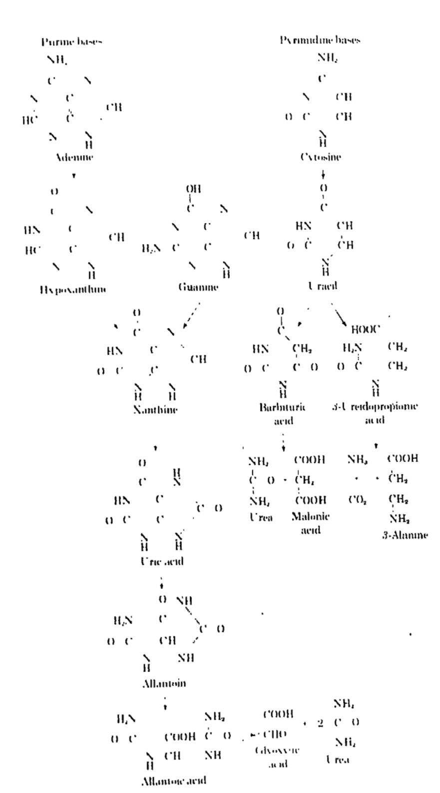
Sugar

+

purine or pyrimidine base

ونتيجة التمثيل الغذائي للسكر يتصاعد غاز ثاني اوكسيد الكاربون ، كما يتوقف انتاج الاحماض العضوية Organic acids على مدى توفر الاوكسجين .

ان تحلل القواعد النيتروجينية موضح في الشكل (١١) إذ ان نواتج التمثيل الغذائي لهذه القواعد النيتروجينية في التربة من اهمها نواتج تحلل حامض اليوريك . ان تحليل القواعد في الشكل اعلاه تتم بوساطة بعض الانواع البكتيرية التابعة للاجناس : ***Clostridium*** و ***Pseudomonas,*** و ***Micrococcus*** ***Corynebacterium*** . حيث ان الاجناس المذكورة لها القابلية على تحليل قواعد البيورين البيريميدين .



شكل (١١) مسارات تحلل قواعد البيورين والبيريميدين .

تحلل اليوريا :

ان اليوريا تمثل ايضاً احدى نواتج تحلل القواعد النيتروجينية المكونة للاحماض النووية . حيث تصل اليوريا الى التربة اما عن طريق استخدام الاسمدة الكيمياوية باعتبارها واحدة منها او قد تصل الى التربة عن طريق افرازات الحيوانات . كما ان اليوريا تتحلل بسهولة عند اضافتها للتربة حيث يتحول جزء كبير من نيتروجينها الى امونيا خلال ايام قليلة ، كما ان درجة الاس الهيدروجيني **pH** ترتفع في الاراضي المضافة اليها اليوريا وقد تصل (٨ ـ ٩) خصوصاً في المواقع الملامسة لجزيئات اليوريا . لهذا السبب وتحت هذه الظروف القلوية يكون الناتج النهائي لتحلل اليوريا عبارة عن غاز الامونيا (NH_3) وان احتمال فقدان هذا الغاز بكميات كبيرة بعد اضافة اليوريا كسماد وتطايره في الجو بصورة غاز الامونيا .

وكما هو معروف فان اليوريا تستعمل بصورة مكثفة في الزراعة سماداً كيمياوياً يحتوي على (٤٦ ٪) نيتروجين ، أو قد تستعمل بصورة غير مباشرة كاستعمال بعض الأسمدة التي عند تحللها تكون اليوريا مثل سياناميد الكالسيوم **Calcium Cyanamide** الذي يتحلل الى سيناميد وكالسيوم والسناميد يتحلل الى يوريا ، ولكن هناك احتمال حدوث بعض المشاكل عند اضافة هذا السماد بكثرة وبصورة مستمرة وهو احتمال تحول جزء منه الى مركب معقد التحلل ويكون ذا سمية عالية خصوصاً الى بكتريا النترجة ، هذا المركب هو **(DCD) Dicyandiamide** حيث يستعمل في بعض التجارب كمثبط لعملية النترجة واحتمال تحلله داخل التربة الى يوريا ثم الى امونيا وثاني اوكسيد الكاربون : ـ

$$\underset{\text{Dicyandiamide}}{C(NH_2)(=NH)(NH{-}C{\equiv}N)} \xrightarrow[\text{metal oxide}]{+H_4O} \underset{\text{Guanylic urea}}{C(NH_2)(=NH)(NH-\overset{\overset{O}{||}}{C}-NH_2)} \xrightarrow[-CO_2\,-\,NH_4]{+H_2O} \underset{\text{Guanidine}}{C(NH_2)(=NH)(NH_2)}$$

$$\underset{\text{Guanidine}}{C(NH_2)(=NH)(NH_2)} \xrightarrow[-NH_4]{+H_3O} C(NH_2)(=O)(NH_2) \xrightarrow[\text{urease}]{H_2O} 2NH_3 + CO_3$$

بالنظر لان المرحلة الاولى لتحلل اليوريا تتمثل في فقدان عنصر النيتروجين المضاف على صورة سماد كيمياوي قد يصل هذا الفقدان من (١٠ ــ ٧٠ ٪) من نيتروجين اليوريا المضافة وذلك عن طريق تطايره على هيئة غاز الامونيا . لذا تركز اهتمام العلماء على ايجاد الحلول للسيطرة او للحد من هذا الفقدان ومن هذه التجارب استعمال سماد اليوريا المغلف بالكبريت ، **Sulfur Coated urea** اذ بهذه الطريقة يمكن التقليل من كمية النيتروجين التي تفقد بالتطاير .

إن تحلل اليوريا يكون نشطاً مع ارتفاع درجات الحرارة على الرغم من ان العملية تحدث ايضاً عند الدرجات الواطئة جداً ، كما ان هناك عوامل عديدة تؤثر في تحلل اليوريا كالرطوبة ، وتوفر الاوكسجين ، ودرجة الاس الهيدروجيني **pH** وغيرها .

كما ان العديد من الميكروبات لها القدرة على افراز انزيم اليوريز **Urease** الذي يساعد على تحلل اليوريا مائياً . كما ان هذا الانزيم يكون موجوداً بصورة دائمية في بعض الانواع من الكائنات الحية ، في حين يحفز الانزيم في بعض الانواع الاخرى بعد اضافة اليوريا وتكون معادلة التحلل المائي لليوريا كما يأتي : ــ

$$CO(NH_2)_2 + H_2O \xrightarrow{urease} H_2COONH_4 \rightarrow 2\,NH_3 + CO_2$$

Ammonium carbamate

(ناتج وسطي)

ومن اكثر الاجناس الميكروبية قدرة على تحلل اليوريا هي : ــ

Klebsiella, Pseudomonas' Proteus, Micrococcus, Bacillus, Clostridium, Corynebacterium

اضافة الى مجموعة اخرى عديدة من الفطريات والاكتينومايسيتات كما يندر وجود ميكروبات لاهوائية لها القدرة على تحليل اليوريا اذ ان معظم البكتريا النشطة في تحلل اليوريا لاهوائياً غالباً ما تكون من ميكروبات لاهوائية اختيارية **Facultative anaerobic** . وهناك مجموعة صغيرة من البكتريا الحقيقية تعرف ببكتريا تحلل اليوريا لا لانها اكثر الميكروبات المحللة لليوريا انتشاراً ولكن لمقاومتها التراكيز العالية من اليوريا وتفضل النمو بوجود اليوريا . وهذه البكتريا بعضها كروي والآخر عصوي متجرثم . وتتمكن كلتا المجموعتين من النمو في اوساط قلوية وانتاج كميات كبيرة من غاز الامونيا . ومن احسن الامثلة على البكتريا

العصوية القصيرة هي التي تتبع جنس ***Bacillus*** واهمها الانواع :

Bacillus Pasteurii

Bacillus freudenreichii

كما يمكن تقدير اعداد هذه البكتريا المتجرثمة المحللة لليوريا في التربة بموازنة الاعداد الناتجة من استخدام تخافيف من التربة المبسترة على درجة (٨٠° م) وغيرها من التخافيف غير المبسترة .

تقدر كفاءة انزيم اليوريز في التربة بتقدير كمية الامونيا المتكونة في عينات التربة المحضنة لفترات قصيرة في وجود اليوريا او من خلال حساب اليوريا المستهلكة .

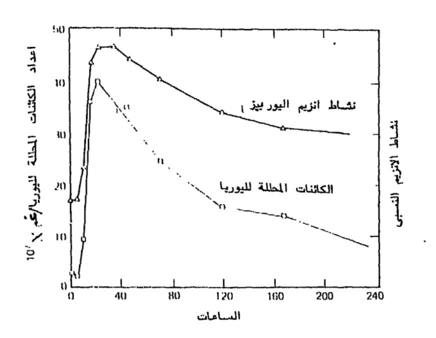
إن اضافة مصادر الكاربون كالكلوكوز مثلاً تؤدي الى تشجيع نمو الميكروبات غير الذاتية التغذية وبالتالي زيادة في نشاط انزيم اليوريز وارتفاع اعداد الميكروبات المحللة لليوريا كما موضح في الشكل (٨) .

وقد تقوم بعض الميكروبات بتحليل اليوريا على الرغم من عدم احتوائها على انزيم اليوريز ومن ميكانيكية هذه الميكروبات هو اتحاد اليوريا مع غاز ثاني اوكسيد الكاربون وبمساعدات انزيمية مكونة حامض **Allophanic acid** كما في المعادلة الآتية : ـ

$$CO(NH_2)_2 + CO_2 \rightarrow H_2NCONHCOOH$$

Allophanic acid

بعد العملية اعلاه يتم تكسير هذا الحامض بواسطة الميكروبات الى الامونيا NH_3 وغاز CO_2 .



شكل (٨) تأثير اضافة الكلوكوز في نشاط انزيم اليوريز urease واعداد الكائنات المحللة لليوريا في التربة . (عن الكسندر ١٩٧٧) .

تحلل الاحماض الامينية :

إن الاحماض الامينية الناتجة عن نشاط الانزيمات المحللة للبروتين proteolytic enzymes (تحلل البروتين) تستخدم مصادر للكاربون والنيتروجين بوساطة اعداد كبيرة من الميكروبات غير ذاتية التغذية التي تتمكن هذه المجاميع من استخدام العديد من هذه المركبات . ان نيتروجين الاحماض الامينية ينطلق على هيئة امونيا التي تستخدمها الميكروبات كمصدر للنيتروجين وذلك قبل تحلل الجزء من الاحماض الامينية المحتوي على الكاربون .

من اهم العمليات التي تجري على الاحماض الامينية هي عملية انتزاع الامونيا Deamination وعملية انتزاع مجموعة الكاربوكسيل (تحرر CO_2) Decarboxylation وكما موضحة في المعادلات الآتية : ـ

ا ـ الانتزاع المباشر للامونيا : **Direct removal of ammonia**

$$R\,CH_2\,CHNH_2\,COOH \rightarrow RCH = CHCOOH + NH_3$$

ب ـ انتزاع الامونيا بالاكسدة : **Oxidative deamination**

$$R\,CHNH_2\,COOH + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow RCO\,COOH + NH_3$$

جـ ـ انتزاع الامونيا بالاختزال : **Reductive deamination**

$$R\,CHNH_2\,COOH + 2H \rightarrow RCH_2\,COOH + NH_3$$

د ـ انتزاع مجموعة الكاربوكسيل (تحرر Co_2) : **Decarboxylation**

$$R\,CHNH_2\,COOH \rightarrow R\,CH_2\,NH_2 + CO_2$$

بعد انتزاع الامونيا من الاحماض الامينية يتعرض ما تبقى من السلسلة الكاربونية للتحلل لتكوين CO_2 ومركبات كاربونية اخرى . هذه التحولات تكون شائعة في تحلل الاحماض الامينية ولكن هناك بعض الاحماض لا تتحلل بهذه الطريقة فبعضها يكون صعب التحلل وقسم منها تتحول الى مركبات اخرى غير التي ذكرت سابقاً .

عملية النشدرة : **Ammonification**

ان الكثير من المواد العضوية النيتروجينية تتعرض للتحلل بفعل الاحياء المجهرية وتختلف هذه المواد من حيث كمية النيتروجين فيها ، فبعضها تحتوي على كمية قليلة من النيتروجين لا تفي بحاجة الميكروب نفسه والبعض الآخر يحتوي على كمية كبيرة تزيد على حاجة الميكروب عندها يتحرر النيتروجين على هيئة امونيا .

ان تحلل اليوريا والبروتين والاحماض الامينية وتكوين الامونيا NH_3 يطلق عليها عملية النشدرة . وهناك العديد من الاحياء المجهرية تساهم بهذه العملية اهمها بعض الانواع التابعة للاجناس الآتية من مختلف الاحياء المجهرية ،

Bacillus' clostridium, Pseudomonas, Proteus, Streptomyces, Nocardia, Actinomyces, Penicillium

إن عملية النشدرة تتاثر بعدة عوامل منها : ـ

ا ـ طبيعة المادة العضوية المتعرضة للتحلل . فمنها ما يكون معقد التحليل كالمخلفات الحيوانية الصلبة كالشعر والحوافر والقرون ، ومنها ما يكون سهل التحلل كاليوريا مثلاً .

ب ـ نسبة الكاربون الى النيتروجين **(C/ N ratio)** في المادة العضوية .

فالنباتات الغنية بالنيتروجين كالبقليات مثلاً فإن عملية النشدرة تكون اسرع ، اما المواد الفقيرة بعنصر النيتروجين اي تكون فيها نسبة الكاربون الى النيتروجين عالية فإن الامونيا لا تنطلق من تلك المواد وذلك لان النيتروجين لا يفي بحاجة الميكروبات نفسها .

جـ ـ توفر مصدر طاقة وكاربون سهلة التحلل في التربة ، فمثلاً سكر الكلوكوز يثبط من عملية النشدرة لان الميكروبات تتجه الى تحليله بدلاً من المادة العضوية وذلك لسهولة تحلله .

د ـ الرطوبة والتهوية ، إذ ان الرطوبة مناسبة لعملية النشدرة عندما تكون قابلية التربة على الاحتفاظ بالماء تقع بين (٥٠ ـ ٧٠ ٪) ، وان الظروف الهوائية تكون هي المفضلة لعملية النشدرة لعلاقة ذلك بالاحياء المجهرية المسؤولة عن العملية .

هـ ـ درجة الاس الهيدروجيني **(pH)** ـ إذ إن وسط التربة المتعادل **pH 7** هو المفضل لعملية النشدرة وتقل العملية اذا كان الوسط حامضياً أو قاعدياً .

و ـ حرارة التربة . ان عملية النشدرة تحدث في مدى واسع من الحرارة (من ٢ ـ ٣٠° م) واحياناً (٤٠° م) . ان معظم الاحياء المساهمة في العملية تفضل الحرارة المتوسطة وهناك احياء مساهمة في العملية تفضل الحرارة العالية (٦٠ ـ ٧٠° م) الا انها تكون قليلة نسبياً .

« معدنة وتمثيل النيتروجين »

دورة المعدنة والتمثيل

Mineralization and Immobitization

المعدنة **Mineralization** : المقصود بالمعدنة تحول العنصر من الصورة العضوية الى الصورة اللاعضوية . كتحول الكاربون العضوي الى CO_2 وتحول النيتروجين العضوي الى أمونيا والفوسفور العضوي الى حامض الفوسفوريك H_3PO_4

التمثيل **Immobilization** : وهو عملية عكس المعدنة أي التحول من الصورة اللاعضوية الى الصورة العضوية . ويطلق على هذا المصطلح أحياناً تثبيت المغذيات .

الأحياء المجهرية واحتياجاتها من هذه العناصر وبالأخص النيتروجين هي العامل الرئيس المتحكم بهذه الدورة فهي كذلك بحاجة الى كاربون وفوسفور وكبريت ــ الخ لبناء أجسامها . فالبكتريا مثلاً بحاجة الى وحدة واحدة من النيتروجين لكل خمس وحدات من الكاربون الممثل . معنى هذا تكون نسبة الكاربون الى النيتروجين (C. N ratio) في أجسام البكتريا هي 1 : 5 . أما الفطريات فهي بحاجة الى وحدة واحدة نيتروجين لكل عشرة وحدات من الكاربون الممثل . معنى ذلك أن نسبة الكاربون الى النيتروجين في أجسامها هي 1 : 10 .

تأثير الـ C : N ratio على عملية المعدنة والتمثيل : ــ

إن المصدر الرئيس للكاربون والنيتروجين الذي تحتاجه الأحياء الدقيقة هي المخلفات العضوية التي تضاف أو تقلب بالتربة بقصد الحصول منها على غذاء جاهز للنبات بعد تحللها . لكنها تكون غذاء للبكتريا والفطريات والأحياء الأخرى في باديء الامر فـ[illegible] تأخذ حاجتها من هذه العناصر وتطرح ما يزيد على حاجتها الى التربة بصو[illegible]ة عناصر جاهزة للنبات . إن العامل الرئيس الذي يحدد فيما إذا كان مخلف [illegible]ي معين يحوي على نيتروجين كافٍ لحاجة الأحياء المجهرية أو أقل من حاجتها او اكثر هي نسبة الكاربون الى النيتروجين في ذلك المخلف العضوي .

ويقترح أحد الباحثين ما يأتي : إذا كانت هذه النسبة أقل من 16:1 فمعناه أن كمية النيتروجين الموجودة في المخلف العضوي هي اكثر من حاجة الأحياء المجهرية .

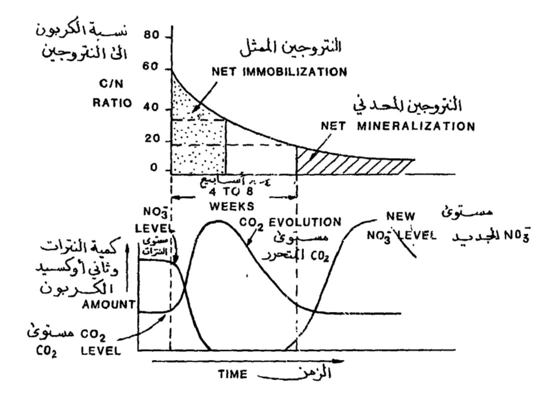
معنى ذلك أن قسماً من نيتروجين المخلف العضوي سوف يضاف الى التربة بصورة أمونيا في المراحل الأولى من التحلل (mineralization) . أما إذا كانت النسبة اكبر من 16:1 في مخلف عضوي آخر معناه سوف تأخذ الأحياء المجهرية نيتروجين المخلف العضوي وبما أنه لا يكفي لسد حاجتها فسوف تعوض النقص من النيتروجين من التربة أي تأخذ جزءاً من النيتروجين الجاهز في التربة . معنى ذلك Immobilization أي تمثيل لجزء من نيتروجين التربة في المراحل الأولى من التحلل .

إن إضافة مخلف عضوي من النوع الثاني (نسبة الـ C:N أكبر من 16:1) مع زراعة نبات معين في نفس وقت الأضافة سوف يؤدي حتماً الى ظهور أعراض نقص النيتروجين على هذا النبات خصوصاً إذا كانت التربة فقيرة في محتواها من النيتروجين . وفي هذه الحالة ينصح بإضافة المخلف العضوي قبل مدة لا تقل عن الشهرين من الزراعة .

باحثون آخرون يعتمدون على النسبة المئوية للنتروجين ويعدها هي المؤشر لكل من المعدنة والتمثيل . فأذا كانت نسبة النيتروجين في المخلف العضوي اكثر من ١,٨ ٪ فالمحصلة هي معدنة أي إضافة نيتروجين في المراحل الأولى من التحلل ولا ضرر إذا زرع محصول معين في نفس وقت إضافة المخلف العضوي . أما إذا كانت هذه النسبة بين ١,٢ ٪ ـ ١,٨ ٪ فالمحصلة هي لا معدنة ولا تمثيل في المراحل الأولى من التحلل . معنى هذا أن كمية النيتروجين هذه كافية لسد حاجة الأحياء المجهرية في المراحل الأولى من دون إضافة نيتروجين معدني للتربة . أما إذا كانت النسبة أقل من ١,٢ ٪ فالمحصلة هي أن الأحياء المجهرية سوف تأخذ جزءاً من نيتروجين التربة لأنه هذه الكمية غير كافية لسد حاجتها **(Immobilization)** . لو حولنا النسب هذه الى **C : N ratio** سوف نجد أن الحد الحرج هو بحدود 25:1 .

في الشكل (٩) نرى حالة من الحالات التي تبين علاقة مستويات النيتروجين المتعدن والنشاط الميكروبي (تحرر Co_2) عند إضافة مادة عضوية ذات نسبة كاربون الى نيتروجين عالية الى التربة أو بمعنى آخر إذا كان المحتوى النتروجيني للمادة العضوية المضافة الى التربة وأطئاً وتأثير ذلك على مستوى النتروجين الممثل من الأحياء والنتروجين المتعدن .

إن تعدن النتروجين العضوي كما أشرنا يختلف بالنسبة الى كميات النتروجين الموجودة في التربة وفي المواد العضوية المضافة الى التربة . فأذا أضيفت مواد بروتينية الى تربة معينة (مواد غنية بالنتروجين) ومواد كاربوهيدراتية كالسكريات (فقيرة بالنتروجين) فسوف نجد أن حالة النتروجين المتعدن وحجم المجموعة الحيوية بعد مرور فترات معينة من الزمن تختلف في الترب المعاملة بالمصدرين العضويين . ولتوضيح ذلك نبين بمثال توضيحي في الشكل (١٠) تأثير ثلاثة أنواع من البيئات في الموازنة بين النتروجين المعدني والنتروجين العضوي علماً بأن النتروجين المعدني يتكون في التربة والعضوي يتكون في خلايا الكائنات الحية .



شكل (٩): التغير في مستوى النترات في التربة خلال تحلل بقايا نباتية ذات محتوى نايتروجيني واطيء (عن تسدال ونلسون ١٩٧٥).

الخط البياني (أ) يمثل الحالة في تربة متروكة دافئة ورطبة من دون إض مواد عضوية لها. عملية خسارة النتروجين عن طريق الغسل تكون فيها معدومة لذا نلاحظ أن النتيروجين المتعدن يبدأ بالزيادة أما النتروج الممثل فيبقى ثابتاً لأن أعداد الخلايا المجهرية تبقى ثابتة أي تحافظ على اعدادها لعدم وجود مصدر كاربوني أو نيتروجيني جديد. إن الزيادة الطفيفة في النتروجين المتعدن في

حقيقتها ناتجة عن موت قسم من الخلايا التي تتحلل في التربة من أحياء أخرى ومن تحلل دبال التربة .

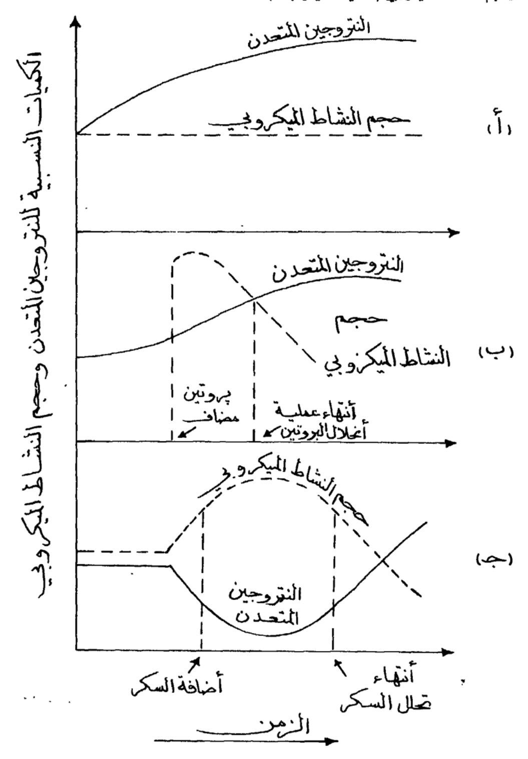
الخط البياني الثاني (ب) يمثل الحالة عند إضافة مادة عضوية بشكل بروتين . نلاحظ بعد مرور فترة من الزمن أن نسبة النتروجين سوف تزداد . كذلك نلاحظ أن كمية النتروجين التي تمثل في خلايا الكائنات الحية تختلف أيضاً ففي بداية الأضافة نجد أن أعداد الخلايا الحية قد إزداد بصورة فجائية وبشكل كبير . أما بعد أنتهاء عملية انحلال المادة البروتينية المضافة فأن نسبة النتروجين المتعدن ترجع بصورة أعتيادية يقابلها أنخفاض في أعداد الأحياء المجهرية .

الخط البياني الثالث (جـ) يمثل حالة أخرى وهي إضافة مادة كاربوهيدراتية الى التربة . وكما معروف فأن السكريات خالية من النيتروجين فعند اضافتها سوف تتكاثر الأحياء المجهرية على حساب الكاربون ،المكون، للمواد الكاربوهيدراتية .

بما أن هذه الأحياء بحاجة الى نيتروجين الى جانب الكاربون لبناء الخلية فسوف تقوم بأمتصاص النتروجين الجاهز الموجود في التربة . وتستمر هذه الحالة حتى أنتهاء تحلل السكر المضاف بعدها تبدأ نسبة النتروجين المتعدن بالزيادة وذلك لمرور الأحياء بعملية أنحلال تصنيف من خلالها النتروجين الى التربة . إن هذه الزيادة تكون ضئيلة لان مصدرها يكون من خلايا الكائنات الحية التي تضاف الى النتروجين الأصلي الموجود بالتربة .

لقد تم التركيز فيما سبق على نقطة مهمة وهي أنه في المراحل الأولى من التحلل يحدث إما معدنة أو تمثيل وحسب الـ C:N ratio لذلك المخلف العضوي وذلك لأنه في المراحل النهائية حتماً سوف يضاف نيتروجين معدني للتربة مهما كانت نسبة الكاربون الى النيتروجين واسعة . ذلك لأن الأحياء المجهرية المحللة في أثناء استعمالها للكاربون سوف تمثل جزءاً منه في خلاياها والجزء الآخر سوف تستعمله مصدراً للطاقة اللازمة لأستمرار عملياتها الحيوية وهذا الجزء سوف يتحلل الى غاز ثاني أوكسيد الكاربون يطرح للجو . الفطريات مثلاً تمثل جزء كاربون وتطرح مقابيله جزئين كـ CO_2 (أي تمثل بحدود ٣٥ ٪ من الكاربون المستعمل) أما البكتريا فأنها تمثل بحدود ١٠ ٪ فقط والباقي (٩٠ ٪ من الكاربون المستعمل) سوف يطرح كـ CO_2 . أضف الى ذلك فأن البكتريا، والفطريات التي نمت وتكاثرت بالعدد على حساب كاربون المخلف العضوي في المراحل الأولى سوف

شكل (١٠) : تأثير اختلاف مكونات المواد العضوية المضافة الى التربة في النيتروجين المتمعدن وحجم النشاط المايكروبي (فعالية المايكروبات) .



تحتاج الى كاربون لأستمرار حياتها لذلك فكاربون المخلف العضوي سوف يقل بالتدريج لدرجة أنه سوف يصبح غير كافٍ لسد حاجتها مما يؤدي الى موت أعداد كبيرة من الأحياء بسبب قلة الكاربون . الأحياء الميتة بدورها سوف تتحلل بفعل أحياء أخرى فيتحرر النيتروجين (والعناصر الأخرى) منها ثانية ويرجع الى التربة بصورة نيتروجين معدني وهكذا إلى أن ترجع الأحياء المجهرية الى عددها الأصلي وتكون المحصلة النهائية معدنة معظم نيتروجين المخلف العضوي .

بعض الأمثلة الرياضية التي توضح الدورة السابقة : –

مثال ١ : –

أضيف مسحوق الجت بنسبة ١ ٪ الى دونم تربة وترك ليتحلل تحت ظروف ملائمة مدة شهرين . فما تأثير ذلك في نيتروجين التربة ؟ إذا علمت أن نسبة الكاربون في مسحوق الجت هي ٤٠ ٪ ونسبة النيتروجين فيه ٣ ٪ وأنه ٨٠ ٪ من مسحوق الجت سوف تتحلل خلال هذه المدة . أفرض أن التحلل كان تاماً بوساطة فطريات التربة التي تمثل ٣٥ ٪ ونسبة الكاربون الى النتروجين فيها ١٠ : ١ .

الحل :

لحل مثل هذا السؤال سو [illegible] بع الحسابات الى دونم من التربة الذي وزنه بحدود ٥٠٠,٠٠٠ كغم على عمق

$\frac{١}{١٠٠}$ × ٥٠٠,٠٠٠ = ٥٠٠٠ كغم / دونم مسحوق [illegible]

$\frac{٤٠}{١٠٠}$ × ٥٠٠٠ = ٢٠٠٠ كغم / دونم كاربون عضوي في مسحوق الب[illegible]

$\frac{٣}{١٠٠}$ × ٥٠٠٠ = ١٥٠ كغم / دونم نيتروجين عضوي في الجت

$\frac{٨٠}{١٠٠}$ × ٢٠٠٠ = ١٦٠٠ كغم / دونم كاربون متحلل بعد شهرين

$\frac{٨٠}{١٠٠}$ × ١٥٠ = ١٢٠ كغم / دونم نيتروجين متحلل بعد شهرين

$\frac{٣٥}{١٠٠}$ × ١٦٠٠ = ٥٦٠ كغم / دونم كاربون عضوي في الفطريات

$\frac{٥٦٠}{١٠}$ = ٥٦ كغم / دونم نيتروجين عضوي في الفطريات

١٢٠ – ٥٦ = ٦٤ كغم / دونم نيتروجين معدني يضاف للتربة في الدورة الأولى من التحلل إذاً العملية mineralization

والآن لنرَ ماذا يحدث في دورة ثانية :

قسم كبير من الفطريات سوف تموت بسبب نقص الكاربون . والكاربون والنيتروجين الداخل في تركيبها سوف تحلله فطريات أخرى لنفرض أنه بحدود ٨٠ ٪ من الفطريات سوف تموت بسبب نقص الكاربون .

$\frac{٨٠}{١٠٠}$ × ٥٦٠ = ٤٤٨ كغم / دونم كاربون عضوي من خلايا ميتة

$\frac{٨٠}{١٠٠}$. × ٥٦ = ٤٤,٨ كغم / دونم نيتروجين عضوي من خلايا ميتة

لنفرض أن نسبة ما يتحلل من كاربون ونيتروجين الفطريات الميتة من قبل فطريات أخرى هو بحدود ٧٠ ٪ بعد مدة شهرين .

$\frac{٧٠}{١٠٠}$ × ٤٤٨ = ٣١٤ كغم / دونم كاربون متحلل بعد شهرين

$\frac{٧٠}{١٠٠}$ × ٤٤,٨ = ٣١ كغم / دونم نيتروجين متحلل بعد شهرين

$\frac{٣٥}{١٠٠}$ × ٣١٤ = ١١٠ كغم / دونم كاربون عضوي ممثل من فطريات اخرى

$\frac{١١٠}{١٠}$ = ١١ كغم / دونم نيتروجين عضوي ممثل من فطريات أخرى

٣١ – ١١ = ٢٠ كغم / دونم نيتروجين معدني يضاف للتربة في الدورة الثانية .

الأستنتاج :

نستنتج من المثال السابق ان كمية النيتروجين المعدني المضافة للتربة في الدورتين هي ٨٤ كغم / دونم . إن لهذه الكمية الكبيرة أهمية من الناحية العملية اذ تزرع مساحات واسعة بنباتات الجت أو البرسيم وتقلب في التربة بهدف الأستفادة منها كسماد نيتروجيني إضافة الى تحسين الخواص الفيزياوية والكيميائية (عناصر غذائية أخرى) للتربة .

لقد فرضنا في المثال السابق أن مدة الدورة محدد بشهرين ولكن مدة الدورة ــ في الحقيقة ــ غير معروف بالضبط لأنه يتوقف على جميع عوامل التربة التي درست سابقاً .

مثال ٢ :

أضيف مسحوق تبن الحنطة بنسبة ١ ٪ الى دونم من التربة وترك ليتحلل تحت ظروف ملائمة مدة شهرين .

فما تأثير ذلك في نيتروجين التربة ؟ إذا علمت أن نسبة الكاربون في مسحوق التبن ٤٠ ٪ ونسبة النيتروجين فيه ٠,٥ ٪ وأن ٦٠ ٪ منه سوف يتحلل خلال هذه المدة . أفرض أيضاً أن التحلل كله بواسطة الفطريات .

الحل :

$\frac{١}{١٠٠}$ × ٥٠٠,٠٠٠ = ٥٠٠٠ كغم / دونم مسحوق التبن .

$\frac{٤٠}{١٠٠}$ × ٥٠٠٠ = ٢٠٠٠ كغم / دونم كاربون عضوي في التبن

$\frac{٠,٥}{١٠٠}$ × ٥٠٠٠ = ٢٥ كغم / دونم نيتروجين عضوي في التبن

$\frac{٦٠}{١٠٠}$ × ٢٠٠٠ = ١٢٠٠ كغم / دونم كاربون متحلل بعد شهرين

$\frac{٦٠}{١٠٠}$ × ٢٥ = ١٥ كغم / دونم نيتروجين متحلل بعد شهرين

$\frac{٣٥}{١٠٠}$ × ١٢٠٠ = ٤٢٠ كغم / دونم كاربون عضوي في الفطريات

$\frac{٤٢٠}{١٠}$ = ٤٢ كغم / دونم نيتروجين عضوي في الفطريات

بما أن الفطريات بحاجة الى ٤٢ كغم نيتروجين والمأخوذ داخل جسمها ١٥ كغم فقط . والنقص هو ٢٧ كغم نيتروجين يؤخذ من التربة .

لهذه العملية اذاً تسبب **immobilization** لنيتروجين التربة في الدورة الأولى في هذا المثال فرضنا أن مدة الدورة الاولى شهران ومعنى هذا أنه بعد هذه المده

يكون في التربة ٤٢٠ كغم كاربون عضوي بشكل فطريات حية في دونم من التربة وهذه تحوي بداخلها على ٤٢ كغم نيتروجين عضوي بشكل فطريات حية . ان هذه الفطريات الحية بحاجة الى زيادة من الكاربون العضوي للأستمرار في الحياة .

الكاربون المتبقي في تبن الحنطة (٤٠ ٪ منه) غير جاهزة لأنها أرتبطت بحبيبات الطين أو بدبال التربة . ماذا يحدث ؟ الذي سوف يحدث أن قسماً من الفطريات سوف تموت بسبب قلة الكاربون لنفرض أنه بحدود ٨٠ ٪ من الفطريات الحية سوف تموت بسبب نقص الكاربون .

$\frac{٨٠}{١٠٠}$ × ٤٢٠ = ٣٣٦ كغم / دونم كاربون عضوي في خلايا ميتة

$\frac{٨٠}{١٠٠}$ × ٤٢ = ٣٣,٦ كغم / دونم نيتروجين عضوي في خلايا ميتة

الآن لنفرض أنه نسبة مايتحلل من كاربون ونيتروجين الفطريات الميتة من فطريات أخرى هو بحدود ٧٠ ٪ بعد مدة شهرين .

$\frac{٧٠}{١٠٠}$ × ٣٣٦ = ٢٣٥ كغم / دونم كاربون متحلل بعد شهرين

$\frac{٧٠}{١٠٠}$ × ٣٣,٦ = ٢٣,٥ كغم / دونم نيتروجين متحلل بعد شهرين

$\frac{٣٥}{١٠٠}$ × ٢٣٥ = ٨٢ كغم / دونم كاربون عضوي ممثل من قبل فطريات أخرى

$\frac{٨٢}{١٠}$ = ٨,٢ كغم / دونم نيتروجين عضوي ممثل من فطريات أخرى

بما أن الفطريات بحاجة الى ٨,٢ كغم نيتروجين والمتحلل هو ٢٣,٥ كغم اذا هناك زيادة في النيتروجين قدرها ١٥,٣ كغم تطرح للتربة بصورة نيتروجين معدني بعد الدورة الثانية . حتى بعد هذه الدورة لم تستعد التربة جميع النيتروجين المعدني المأخوذ في الدورة الأولى . لأنه ما مأخوذ هو ٢٧ كغم وما مطروح للتربة هو فقط ١٥,٣ لذلك لم تستعد التربة العجز في النتروجين المعدني الذي مقداره ١١,٧ كغم .

وهكذا تستمر الدورات الى أن تأتي مرحلة تستعيد فيها التربة جميع النتروجين المأخوذ منها اضافة الى جزء كبير من نيتروجين تبن الحنطة المضاف .

ما مدة كل دورة ؟وما المدة اللازمة لكي يضيف تبن الحنطة نيتروجيناً معدنياً للتربة ؟ الجواب على هذه الأسئلة غير معروف ولكن يمكن معرفته بأجراء تجارب مختبرية وحقلية لمدد معينة من الزمن . ان اضافة تبن الحنطة الى التربة ليس للأستفادة منه كمصدر للنتروجين فحسب ولكن يضاف بصورة رئيسية بهدف الاستفادة منه في تحسين الصفات الفيزيائية للتربة وهناك الاف الأطنان من بقايا الحنطة والشعير تقلب بالتربة سنوياً لهذا الهدف .

بنفس الطريقة السابقة يمكن حل كل من المثالين في حالة كون التحلل كاملًا كان بوساطة البكتريا التي تمثل بحدود ١٠ ٪ ونسبة الكاربون الى النتروجين فيها 1 : 0

معدنة النيتروجين : Nitrogen Mineralization

ان النباتات بصورة عامة تحتاج الى عنصر النيتروجين بكميات كبيرة ، اذ ان النباتات تقوم بتمثيل مركبات النيتروجين اللاعضوية (المعدنية) مثل النترات والامونيوم .

كما ان المواد النيتروجينية العضوية الموجودة في التربة اضافة الى المخلفات النباتية تكون مواد غير قابلة للاستخدام من النباتات . ان الاتجاه نحو تحول هذه المواد العضوية المحتوية على النيتروجين الى مواد لاعضوية قابلة للحركة والامتصاص يعد هدفاً اساسيا وضرورياً لاعادة استخدام عنصر النيتروجين كغذاء مهم من اجل تحسين خصوبة التربة . وان عملية تحول النيتروجين من الصور العضوية الى صور لاعضوية (معدنية) قابلة للحركة والتمثيل تعرف بعملية معدنة النتروجين .

كما ذكر سابقاً ان اغلب النيتروجين الموجود في التربة هو على هيئة مواد عضوية غير متيسرة للنبات ولا بد من تحللها من اجل ان يصبح النيتروجين جاهزاً للنباتات .

فالنباتات تمتص المركبات النيتروجينية اللاعضوية بسرعة ولهذا السبب نلاحظ استجابة النباتات للاسمدة المعدنية تكون اسرع من مفعول الأسمدة العضوية التي تحتاج الى وقت من اجل تحللها .

ان ميكروبات التربة تكون نشطة جداً في عملية تحويل النيتروجين العضوي الى نيتروجين لاعضوي (معدني) وهذا التحول هو الذي اطلقنا عليه سابقاً عملية معدنة النيتروجين ، وقد تتحرر الامونيا في اثناء عملية المعدنة عندما تكون كمية النيتروجين في المادة العضوية المتحللة كبيرة وتزيد عن حاجة الميكروب ، او قد تنطلق الامونيا عندما تكون كمية النيتروجين قليلة بحيث لاتكفي الا لسد حاجة الميكروبات .

ان النيتروجين اللاعضوي المتكون نتيجة المعدنة تستغله النباتات والاحياء المجهرية وقسم منه يفقد خلال عملية الغسل على هيئة نترات ، او يفقد بعملية اختزال النترات على هيئة N_2 ، N_2O أو NH_3 ولهذا فالنيتروجين اللاعضوي المتبقي في التربة هو عبارة عن كمية النيتروجين المتكون من عملية المعدنة مطروحاً منه النيتروجين الذي تستعمله النباتات والاحياء المجهرية والذي يفقد بالغسل وعملية اختزال النترات كما موضح في المعادلة التالية : ـ

$$\Delta Ni = Nm - [Na + Np + Nl + Nd]$$

حيث ان :

ΔNi = كمية النيتروجين اللاعضوي (المعدني)

Nm = النيتروجين العضوي التي تمت معدنته .

Na = النيتروجين الممثل بواسطة الميكروبات .

Np = النيتروجين الممثل بواسطة النباتات .

Nl = النيتروجين المفقود بواسطة الغسل .

Nd = النيتروجين المفقود بواسطة عملية اختزال النترات .

تمثيل النيتروجين اللاعضوي : Nitrogen Immobilization

نتيجة لعملية تحلل المادة العضوية النيتروجينية السابقة الذكر تتكون مركبات نيتروجينية لاعضوية تمتصها النباتات ، كما ان ميكروبات التربة ايضا بحاجة لهذه المركبات النيتروجينية لبناء مكوناتها . وان عملية استغلال النيتروجين اللاعضوي في التربة وبناء مكونات الخلية النيتروجينية العضوية يطلق عليه تمثيل النيتروجين .

كما ان الاحياء المجهرية لاتحتاج الى النيتروجين فقط وانما تحتاج الى البوتاسيوم والفسفور والكبريت وغيرها من العناصر ولكن احتياج الاحياء لهذه العناصر لايكون بتلك الدرجة الكبيرة لان حاجتها لهذه العناصر تكون بكميات قليلة . كذلك فان الميكروبات توفر هذه العناصر لنفسها وللنباتات عن طريق تحليلها للمواد المختلفة .

هناك علاقة بين معدنة النيتروجين وتمثيله كما بينا سابقاً ، فالمعدنة تحول النيتروجين العضوي الى نيتروجين لا عضوي (معدني) ، اما عملية التمثيل فهي بناء النيتروجين العضوي من النيتروجين اللاعضوي . ان المواد العضوية الغنية بالنيتروجين التي تكون فيها نسبة النيتروجين اكثر من (١,٨ ٪) تكون عملية المعدنة فيها جيدة ، اما في المواد العضوية الفقيرة بالنيتروجين التي تكون فيها نسبة النيتروجين اقل من (١,٨ %) فتكون عملية المعدنة بطيئة وعملية التمثيل تكون جيدة وسريعة . مما تقدم فهناك مستوى حرج للنيتروجين **Critical nitrogen level** والذي تم شرحه سابقاً باسهاب يعبر عنه بنسبة الكاربون الى النيتروجين **C/ N ratio** والتي تساوي عادة ١ / ٢٠ ــ ٣٠ وعند الزيادة عن تلك النسبة تزداد عملية التمثيل واذا قلت عن تلك النسبة فان عملية المعدنة تنشط . والنيتروجين اللاعضوي قد يستغل على هيئة املاح الامونيوم او على هيئة نترات بعد تأكسد الامونيا الى نترات بعملية النترجة .

ان قلب المخلفات النباتية غير المتحللة في التربة تعتبر من العمليات الزراعية التي تجري باستمرار بهدف المحافظة على المادة العضوية والعناصر الغذائية . ان تلك العملية تؤدي دائماً الى انخفاض محتوى التربة من المواد النيتروجينية غير العضوية لفترة قصيرة .

ان عدم تمثيل النيتروجين يؤثر في نمو الميكروبات وتحلل المواد العضوية وان عملية التمثيل تحدث عادة عند وجود النشاط الميكروبي. كما لا تحدث ايضاً معدنة كاملة للنيتروجين حتى في حالة اضافة البروتين النقي الى التربة لان جزءاً منه يستخدم في تمثيل خلايا الكائنات الدقيقة. وتعد املاح الامونيوم اسهل مصادر عنصر النيتروجين تمثيلاً بوساطة اغلب الانواع البكتيرية والاكتينومايسيتات والفطريات. وتعد الامونيا المرتبطة او غير القابلة للاستخلاص من التربة غير قابلة الاستخدام بوساطة الميكروبات. ان المركبات النيتروجينية او الاحماض الامينية تضاف الى المزارع المختبرية كمواد مشجعة للنمو. ولكن يمكن ان يستعمل نيتروجين تلك المواد بسهولة بعد حدوث عملية النشدرة لها (تحرر الامونيا).

تنمو العديد من الاكتينومايسيتات والبكتريا السالبة لصبغة كرام بسهولة في وجود املاح الامونيوم او النترات وعدم وجود الاحماض الامينية في الوسط. كما ان هناك بعض الميكروبات لا تتمكن من استخدام النترات كما يفشل بعضها في تمثيل الامونيا واستخدامها مصدراً وحيداً للنيتروجين. ان الميكروبات الممثلة للنترات يمكنها كذلك استخدام الامونيوم حيث ان استخدام النترات يعد درجة اعلى في التطور الفسيولوجي. وفي حالة المزارع المختبرية التي تحتوي على الامونيوم والنترات نجد ان ايونات الامونيوم تختفي في البداية وقد تبقى النترات الى حين اختفاء الامونيا تماماً. وبطريقة مشابهة لذلك نجد ان الامونيا تفضل على النترات خلال تحلل المادة العضوية، ولكن يمكن تمثيل النترات بكميات كبيرة بعد انخفاض تركيز الامونيا.

ان استخدام اصطلاح معامل النيتروجين هو للتعبير عن النقص الحاصل في المواد النيتروجينية غير العضوية (المعدنية) عند اضافة مواد عضوية ذات نسبة كاربون الى نيتروجين عالية. ويعرف معامل النيتروجين بأنه؛ عدد الوحدات من النيتروجين غير العضوي التي تمثل بوساطة مائة وحدة (١٠٠) من المادة العضوية المتحللة او من الناحية العملية ويعرف معامل النيتروجين بأنه كمية النيتروجين التي يجب اضافتها لمنع حدوث التمثيل الكامل للنيتروجين في الوسط المحيط.

ويقدر معامل النيتروجين باضافة مزيد من الامونيا الى المخلفات النباتية ثم تقدير كميات النيتروجين غير العضوي المتكونة على فترات خلال تحلل هذه المخلفات.

وتختلف قيمة معامل النيتروجين من (٠,١) او اقل الى (١,٣) . وفي حالة المحاصيل الكاملة النمو نجد ان معامل النيتروجين عادة ما يتراوح بين (٠,٥) الى (١ــ) وذلك عند اضافة النيتروجين في بداية التحلل ، ولكن قد يساعد ترك المادة الكاربونية للتعفن بعض الوقت قبل اضافة الاسمدة الكيمياوية على انخفاض معامل النيتروجين وذلك نتيجة لانخفاض نسبة الكاربون الى النيتروجين للمادة العضوية الناتجة : ويعد معامل النيتروجين قيمة تمثل التوازن الناشيء بين كل من عمليتي المعدنة والتمثيل حيث تحدث كلا العمليتين عند تحلل اية مادة عضوية بغض النظر عن نسبة النيتروجين في تلك المادة . ويعد تقدير عمليتي المعدنة والتمثيل كليهما في وقت واحد ذا اهمية بالغة حيث تدل النتائج الحاصلة من خلال التجارب لبعض العلماء على مصير التحولات التي تطرأ على عنصر النيتروجين في وقت معين . من امثلة ذلك هو التحولات التي تطرأ بعد اضافة مواد عضوية ذات نسبة كاربون الى نيتروجين عالية كأن تكون (١ : ٧٠) حيث تفوق او تتغلب عملية التمثيل على عملية المعدنة ــ كما اشرنا سابقاً ــ وتكون المحصلة النهائية اختفاء صور النيتروجين المعدنية ، في حين ان المواد العضوية ذات نسبة الكاربون الى النتروجين الواطئة كأن تكون (١ : ١٥) يؤدي اضافتها الى حدوث المعدنة بمعدلات اعلى من عملية التمثيل وهذا يؤدي بالتالي الى زيادة المحتوى الكلي من النيتروجين اللاعضوي (المعدني) .

تعد عملية تمثيل المواد النتروجينية غير العضوية مهمة من الناحية الزراعية من عدة جوانب . وكما هو معروف تعد النباتات منافسات غير قوية للميكروبات في الحصول على النيتروجين غير العضوي عند وجوده بكميات غير كافية للنمو ولكل من الكائنات الحية الدقيقة والراقية . وتعد عملية التمثيل التي تصاحب اضافة المخلفات النباتية الفقيرة في النيتروجين (ذات نسبة كاربون الى نيتروجين عالية) غير مرغوب فيها خلال موسم نمو النباتات ، في حين نجد هذه العملية ذاتها قد تكون مفيدة خاصة في الخريف في اراضي المناطق المعتدلة وذلك نظراً لارتباط الامونيا والنترات بمكونات التربة وعدم فقدها بوساطة الغسل في فصل الشتاء التالي ، وعند فصل الربيع الذي يلي ذلك تتم معدنة جزء على الاقل من النيتروجين المتحد في بروتوبلازم الخلايا الى امونيا ونترات التي يمكن استخدامها بوساطة النباتات .

ونتيجة لما تقدم فإن لفصول السنة وتعاقبها ذات فائدة في تحديد مدى الفائدة او الضرر الناتج عن عملية المعدنة على الانتاج الزراعي .

عملية النترجة : Nitrification

إن المحصلة النهائية لمعدنة النيتروجين العضوي في التربة تنتهي بتكوين الامونيوم التي تعد اكثر صور عنصر النيتروجين المعدنية اختزالاً . من هذه النقطة اي تكوين ايونات الامونيوم تبدأ عملية النترجة في الظروف الطبيعية اذ تؤدي هذه العملية الى تكون النترات NO_3^- أو النتريت NO_2^- إن اهمية الميكروبات الخاصة بعملية النترجة تنحصر في المقدرة على تكوين ايونات النترات التي تعد من اهم صور النيتروجين تمثيلا من النباتات .

ولقد عرف انتاج املاح النترات خلال حكم نابليون وذلك لاستخدام املاح النترات في صناعة البارود **Gun powder** في فرنسا لاستعمالها في حروب نابليون ، حيث تم ذلك بخلط التربة والسماد العضوي وكاربونات الكالسيوم $CaCO_3$ ولقد فسرت هذه الطريقة لتكون النترات نتيجة حدوث بعض التفاعلات الكيمياوية بين الاوكسجين والامونيا بوجود عامل مساعد هو التربة ، الا ان العالم باستور اعتبر ان تكون النترات بهذه الطريقة ما هو الا عملية حيوية كتحول الكحول الى الخل وتبعه علماء اثبتوا ذلك عملياً كالعالمين **Schloesing** و **Muntz,** وقام العالم وينوكرادسكي **Winogradsky** بعد ذلك بعزل الميكروبات المسؤولة عن التحولات الحيوية المؤدية الى تكوين النترات .

خطوات عملية النترجة :

١ ـ اكسدة الامونيوم الى النتريت .
٢ ـ اكسدة النتريت الى النترات .

ان الخطوة الاولى من عملية الاكسدة تكون مهمة لعدم امكان تحول الامونيا تحت الظروف غير الاعتيادية مباشرة الى نتريت . ومن خلال بحوث بعض العلماء فانها تتحول الى NH_2OH **(Hydroxylamine)** وهذا بدوره يتحول الى NOH **(Nitroxyl)** وهذا الاخير يعد مركباً وسطياً غير ثابت فتحت الظروف الطبيعية (الهوائية) فأنه يتحول الى نتريت ، اما اذا كانت الظروف غير طبيعية (ظروف لاهوائية) فأنه يتحول الى اوكسيد النتروز **(N_2O)** كما في المعادلات الآتية : ـ

$$NH_4^+ + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow NH_2OH + H^+$$

$$2\,NH_2OH \xrightarrow{\text{ظروف هوائية}} 2\,(NOH)$$

Dehydrogenation

$$2\,(NOH) \xrightarrow{+2NO_2^-} 2\,(NO_2 . NHOH) \rightarrow 4\,HNO_2$$

$$2\,(NOH) \xrightarrow{\text{ظروف لا هوائية}} N_2O + H_2O$$

وتعرف العملية في اعلاه بالـ **Nitrosification** ، ويمكن كتابة المعادلة بالنسبة للخطوة الاولى وهي اكسدة ايونات الامونيوم الى ايونات النتريت تحت الظروف الطبيعية كما يأتي :

$$NH_4^+ + 1\frac{1}{2} O_2 \rightarrow NO_2^- + 2\,H^+ + H_2O + 66\ kcal$$

أما الخطوة الثانية من خطوات عملية النترجة فهي التي تتمثل باكسدة ايونات النتريت الى ايونات النترات كما في المعادلة الآتية .

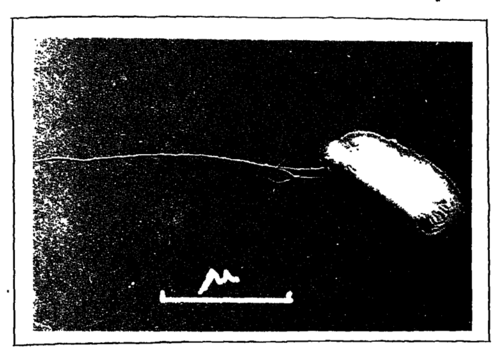
$$NO_2^- + 1\,1/2\,O_2 \rightarrow NO_3^- + 17.5\ kcal$$

البكتريا التي تقوم بعملية النترجة : Nitrifying bacteria

ان البكتريا التي تقوم بعملية النترجة تتبع عائلة ، **Nitrobacteriaceae** حيث تحتوي على بكتريا مختلفة الاشكال فمنها العصوية والكروية بعضها متحرك والبعض الآخر غير متحرك . كما ان بكتريا النترجة هي من النوع الهوائي الاجباري ، **strict aerobes** وذاتية التغذية الكيمياوية ، **Chemoautotrophic bacteria** ، أي انها تستمد طاقتها من اكسدة المواد اللاعضوية (المعدنية) وتستمد كاربونها من ثاني اوكسيد الكاربون . كما وجد في بعض السلالات المسؤولة عن عملية النترجة أن مصدر الكاربون يمكن ان يكون هو المادة العضوية .

تنتمي الى العائلة المذكورة في اعلاه سبعة أجناس تقوم اربعة اجناس منها بعملية اكسدة الامونيوم الى النتريت (الخطوة الاولى) والثلاثة اجناس الاخرى تكون مسؤولة عن عملية اكسدة النتريت الى النترات (الخطوة الثانية) أهم الاجناس التابعة للمجموعة الاولى هي *Nitrosomonas* إذ يعد اهم الأجناس والاكثر انتشاراً في التربة شكل (١٢) وهي عبارة عن عصيات قصيرة سالبة لصبغة كرام بعضها

متحرك وبعضها غير متحرك . اما الاجناس الثلاثة الاخرى المسؤولة عن الخطوة الاولى فهي ، *Nitrosolobus Nitrosococcus, Nitrosospora*



شكل (١٢) صورة مأخوذة بالميكرسكوب الالكتروني لبكتريا : *Nitrosomonas europaea* ·

أما اهم الاجناس التي تقوم بالخطوة الثانية من عملية النترجة فهو الجنس ، *Nitrobacter* وهي عصيات قصيرة تتكاثر بالتبرعم وسالبة لصبغة كرام وغير متحركة . وهناك جنسا : *Nitrospira* ، *Nitrococcus* يقومان باكسدة النتريت الى النترات ايضاً .

وهناك بكتريا غير ذاتية التغذية تقوم بعملية النترجة ايضا ، حيث اكتشفت اخيرا هذه الانواع اضافة الى بعض الاكتينومايسيتات والفطريات في حالة وجود كميات من ايونات الامونيوم تزيد على حاجة هذه الاحياء وتقوم بنفس العملية .

ان الشيء الذي تختلف فيه تلك الاحياء عن الاحياء الذاتية التغذية هو تمكنها من تكون النتريت ايضا من مركبات عضوية نيتروجينية مثل مركبات النيتروفينول ، **Nitrophenols**

العوامل التي تؤثر في عملية النترجة :

١ ـ وجود المركبات النيتروجينية في التربة :

ان توفر المركبات النيتروجينية اللاعضوية (المعدنية) الى حد معين يحفز عملية النترجة اذ ان توفر املاح الامونيوم مثلا في التربة تنشط بكتريا الـ **Nitrosomonas** لاكسدة ايونات الامونيوم الى النتريت ، ولكن اذا كانت تلك الاملاح موجودة بكميات كبيرة فقد تؤثر في بكتريا الـ **Nitrobacter** المسؤولة عن اكسدة النتريت الى النترات .

٢ ـ درجة الحرارة :

ان درجة الحرارة المتوسطة هي المفضلة لعملية النترجة . الا ان النترجة يمكن ان تتم في مدى واسع من درجات الحرارة بين ٥° م ـ ٤٠° م حيث ان العملية تكون بطيئة في ظروف حرارة اقل من ٥° م واكثر من ٤٠° م .

٣ ـ رقم الاس الهيدروجيني **pH** :

من المعروف ان بكتريا النترجة تكون حساسة جدا لدرجة الحموضة حيث يحدث تثبيط للعملية في **pH** أقل من (٥) وان رقم الـ **pH** المفضل لعملية النترجة هو المتعادل او المائل قليلًا الى القلوية ويمكن تحديد المدى المفضل لدرجة الاس الهيدروجيني بين ٦,٥ ـ ٨,٥ .

٤ ـ الرطوبة والتهوية :

ان الرطوبة المناسبة لعملية النترجة في التربة هي بين ٦٠ ـ ٦٥ ٪ من القابلية التشبعية للتربة ، وان زيادة الرطوبة يؤدي الى نقص الاوكسجين في التربة والذي يعد من الامور الاساسية لاتمام عملية الاكسدة ، كذلك فان قلة الرطوبة عن الحد المذكور في اعلاه يقلل من عملية النترجة وذلك لتأثيره في نشاط بكتريا النترجة .

٥ ـ العمليات الزراعية المختلفة :

يمكن تلخيص العمليات الزراعية بنوع المحاصيل المزروعة فمنها ما يثبط العملية ومنها ما يزيد من العملية حسب نوع الافرازات التي تفرزها تلك المحاصيل

وكذلك معاملة التربة بالاسمدة النيتروجينية بالحدود الموصى بها تكون منشطة لبكتريا النترجة . تحضير الارض قبل الزراعة مهمة ايضاً اذ ان توفير ظروف هوائية وتحسين تركيب التربة عن طريق الحرث وغيرها . كما ان استخدام المبيدات بتراكيز عالية وبصورة مستمرة له مساوىء وتأثير في عملية النترجة وتأثيرها يكون كتأثير مخلفات المعامل الصناعية وما تطرحه من ملوثات للتربة والماء . واخيراً : إن استعمال اللقاحات البكتيرية الخاصة بالاحياء التي تقوم بعملية النترجة يزيد من خصوبة التربة نتيجة زيادة عملية النترجة الى الحدود التي لا تسبب ضرراً لتراكم النترات بكميات كبيرة في الماء الارضي الذي تصل اليه من التربة عن طريق الغسل بالماء .

ومن الحقائق الثابتة عن عملية النترجة ما يأتي : ـ

١ ـ لا تتكون النترات في التربة الا عندما تكون هناك ايونات النتريت اي ان تكون النترات يتوقف على وجود النتريت .

٢ ـ ان عملية النترجة لا تتم الا تحت الظروف الهوائية .

٣ ـ ان تأكسد الامونيا في التربة يجري على سطيحات الحبيبات للتربة وان هذا التأكسد يشمل ايونات الامونيوم القابلة للتبادل Exchangeable ammonium فقط .

فزيادة ايونات الامونيوم المتبادلة في التربة تؤدي الى زيادة محتملة في نترات التربة تحت الظروف الطبيعية .

٤ ـ تكون عمليات الاكسدة سريعة عندما تحتوي التربة على كميات مناسبة من الكالسيوم والفوسفور وكذلك على كميات متوازنة من العناصر الأثرية Trace elements كالحديد والزرنيخ والنحاس وغيرها . وقد ثبت أن قابلية اكسدة بكتريا الـ *Nitrobacter* لايونات النتريت تزداد عندما تكون هناك كميات معينة من عنصر المولبدنوم (Mo) في التربة .

٥ ـ ان الميكروبات التي تقوم بهذه العملية الحيوية هي بكتريا بالدرجة الاولى الا انه توجد هناك بعض الانواع من الفطريات ما يقوم بهذه العملية ايضاً مثال بعض الانواع التابعة للجنس : *Aspergillus* .

٦ ـ لا تتراكم ايونات النتريت في التربة في الظروف الطبيعية المناسبة حيث تتأكسد مباشرة الى ايونات النترات .

٧ ـ ان تكون النترات يكون بطيئاً جداً في درجات الحرارة الواطئة وتزداد بزيادة

درجات الحرارة ، وان انسب درجة حرارة لعملية النترجة هي المعتدلة **Mesophiles** .

اما تكون الامونيا فيحدث في درجات حرارة عالية قد تصل الى ٧٠° م أو أكثر.

النترات والتلوث البيئي :

على الرغم من اهمية النترات باعتبارها ايونات ضرورية للتغذية الا انها تعد ايضاً من اهم المواد الملوثة للبيئة وتكون غير مرغوبة نتيجة للدور الفعال الذي تقوم به في هذا المجال. ونتيجة للاستخدام الكثيف للمخصبات الكيمياوية النيتروجينية في التربة يفوق الحاجة اليها فان تراكم النترات يزداد في التربة مع زيادة تلوث المياه والانتاج الزراعي . ان استعمال الاسمدة الكيمياوية النيتروجينية ولاسيما املاح الامونيوم واليوريا بكميات كبيرة في التربة يؤدي بالتالي الى زيادة في كمية النترات الناتجة عن عملية النترجة ويفقد جزءاً منها عن طريق الاختزال وانطلاق النيتروجين ، **Denitrification** وجزء منه يترشح من خلال التربة ليصل الى المياه الجوفية ويلوثها . وتصل النترات ايضا الى المياه السطحية كالانهار والبحيرات اذ تصبح المياه ملوثة بالنترات وان هذه الحالة تؤدي الى : ــ

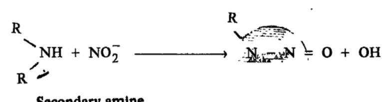
١ ـ ظاهرة الاثراء الغذائي **Eutrophication** وتعني انتعاش نمو الطحالب والنباتات في المسطحات المائية نتيجة لزيادة المحتوى الغذائي للمياه وان وصول (٠,٣) جزء بالمليون من النترات الى تلك المسطحات كافية لاحداث هذه الظاهرة . ان هذه الظاهرة تؤثر في تغيير طعم المياه ورائحته وبذلك تصبح معاملة تلك المياه مكلفة جداً بعد تنقيتها من الطحالب. قد يحدث نقص في كمية الاوكسجين عندما تزداد الاعداد البكتيرية في تلك المياه مما يؤثر في حياة الاحياء المائية كالاسماك وغيرها نتيجة لاستهلاك الاوكسجين في اكسدة الزيادة في المواد العضوية المتراكمة في تلك المياه . كما ان نمو هذه النباتات في البحيرات والمسطحات المائية قد يعيق الملاحة النهرية (اعاقة حركة الزوارق) .

٢ ـ ان تلوث مياه الشرب بايونات النترات يؤدي الى مرض ، **Methemoglobinemia** الذي يصيب الاطفال بصورة خاصة ويعرف بمرض زرقة العيون ، حيث ان وجود النترات اكثر من (١٠) أجزاء بالمليون في مياه

الشرب او الخضراوات قد يؤدي الى حدوث هذا المرض بسبب اختزال النترات في القناة الهضمية الى النتريت . وبوصول النتريت الى الدم يتفاعل مع الهيموغلوبين مكوناً مركب **Methemoglobin** وهذا المركب يؤدي بدوره الى اعاقة عملية نقل الدم في الجسم . ولا تعدّ هذه العملية ذات تأثير يذكر عند الأشخاص البالغين في حين قد تكون بالغة الخطوة كما اشرنا عند الاطفال الرضع الذين هو دون الثلاثة اشهر من اعمارهم لتعاملهم المباشر والكلي بالماء .

وبالنظر لحدوث هذا النوع من المرض نتيجة لاستهلاك المياه الملوثة بالنترات فقد اوصت منظمة الصحة العالمية WHO والعديد من البلدان بعدم احتواء مياه الشرب على تراكيز من النترات تتعدى (١٠) أجزاء بالمليون ، وهو التركيز الذي ثبت ان الحالات المرضية السابق ذكرها للاطفال تكون نادرة الحدوث عندما يكون تركيز النترات في مياه الشرب أقل من (١٠) أجزاء بالمليون . كما ان هناك نباتات تستهلك النترات الموجودة في التربة وتختزنها بكميات كبيرة داخل خلاياها كما في الخضراوات مثل البنجر ، والسبانخ ، والكرفس ، والخس وبعض المحاصيل العلفية مثل الذرة والشوفان . ان المرض المذكور آنفاً يصيب الاطفال بصفة خاصة ويحتمل ان يصيب الحيوانات للسبب نفسه ويعرف في هذه الحالة بـ **Animal Methemoglobinemia** .

٣ ـ هناك خطورة اخرى ، لتراكم كميات كبيرة من النتريت في التربة نتيجة لتكون مركبات النتروز أمين **Nitrosamine** . اذ ان توفر امينات ثانوية **Secondary amine** في التربة التي قد تضاف كمبيدات حيث ان بعض المبيدات الحشرية من الناحية الكيمياوية عبارة عن امينات ثانوية ، كما ان البقايا النباتية غالبا ما تحتوي على هذه المركبات او تكونها بعض الاحياء المجهرية في اثناء نشاطها على المبيدات وغيرها من المواد الطبيعية . تتفاعل هذه الامينات مع النتريت فيتكون مركب **Nitrosamine** وهو يعد مادة مسرطنة **Carcinogenic** عند وصوله للانسان عن طريق الماء او الخضر : ـ



Secondary amine

إذ ان R ، R يمكن ان تكون مجموعة مثيلية او سلسلة كاربونية مستقيمة او حلقية . ان مركبات النتروز أمين جلبت الانتباه حديثا نظراً لانه بات واضحاً انها تسبب حدوث بعض الامراض السرطانية والطفرات وبعض المظاهر الشاذة واحياناً وفاة الاجنة . ولم تظهر حتى الآن مشاكل بيئية ناجحة عن مركبات النتروز أمين وذلك لقلة احتمال تكونها في التربة ، ولكن مدى فاعلية هذه المجموعة من المركبات يجعل تقويم الاضرار الناشئة عن وجودها ضرورية .

وفي الظروف الاعتيادية لا يوجد النتريت في التربة ولكنها قد تظهر بكميات كبيرة في التربة وتتكون باستمرار في اثناء عملية النترجة واختزال النترات . وكذلك بعض النباتات التي تستهلك من قبل الانسان كغذاء يمكنها امتصاص هذه المركبات ولكن حتى الآن لا يتوفر الدليل على انتاج هذه المواد الكيميائية في التربة في الظروف الطبيعية .

لقد شهدت السنوات الاخيرة زيادة كبيرة في اضافة المركبات النيتروجينية للتربة وذلك اما على صورة اسمدة كيمياوية تضاف بهدف زيادة الانتاج الزراعي أو على صورة كميات ضخمة من سماد الفضلات الحيوانية من اجل التخلص منها أو على صورة المخلفات الصلبة والمتبقية من معاملة مياه مجاري المدن للعمل على تلاشي تلوث المياه القريبة . لذا تحدث عملية النترجة بسرعة واضحة للاسمدة الكيميائية المحتوية في الغالب على املاح الامونيوم واليوريا في حين نجدها على العكس بطيئة بالنسبة للمواد العضوية النيتروجينية الموجودة في المخلفات العضوية . ويبدو واضحاً مدى امكانية مساهمة الاسمدة في زيادة محتوى التربة والمياه من النترات اذا ما اخذ بنظر الاعتبار النمو المستمر في صناعة الاسمدة خلال السنوات الماضية والحاجة الماسة الى التوسع في مثل هذه الصناعة وخصوصا في الوقت الحاضر للمحافظة على مصادر الغذاء في الدول المتقدمة ولسد نقص التغذية واحتياجات السكان في الدول النامية . ولكن الضرر ينتج من عدم استخدام المحاصيل الزراعية لتلك الاسمدة المضافة الى التربة بصورة كاملة بل تستخدم جزءاً قليلا منها ، اذ نجد ان اغلب الجزء المتبقي في التربة يتأكسد الى النترات التي تتعرض اثر تكونها لفعل عمليتي الغسل بمياه التربة وانطلاق النيتروجين بعملية الـ Denitrification .

مما تقدم يتضح خطورة تراكم النترات في التربة وتلويثها للمياه والخضر ولهذا السبب تضاف بعض المواد الكيمياوية مع المخصبات الكيميائية النيتروجينية مثل كبريتات الامونيوم واليوريا وغيرها وذلك للتقليل من كميات النترات المتكونة على شرط ان تكون هذه المواد ليست سامة وغير ملوثة للبيئة ولا مكلفة اقتصادياً وان يكون استعمالها بتراكيز قليلة فعالاً في تثبيط عملية النترجة في التربة . وتشمل هذه المواد الامثلة الآتية : ـ

Chlorinated pyridines , Sodium or potassium azide , Trichloracetamide , pyrimidines , 2– chloro – 6 (trichloromethyl) pyridine (N– serve) , Dicyandiamide (DCD).

وغيرها من المواد الاخرى .

ولقد اظهرت النتائج أن المواد **N–serve** و **DCD** هي من المواد الكفأة في عملية تثبيط النترجة من خلال استعمالها بكميات قليلة جداً وليس لها تأثير سمي يذكر وتحللها في التربة الى مواد غير سامة كما ثبتت كفاءتها في المجال التطبيقي ايضاً . إن تثبيط عملية النترجة معناه تحويل صيغة النيتروجين وتراكمه على شكل ايونات الامونيوم بدلاً من النترات . إذ ان ايونات الامونيوم لا تكون عرضة للغسل بالمياه اضافة الى ارتباطها بغرويات التربة على عكس النترات التي تكون حرة في محلول التربة . وهذه الحالة تكون لها فائدة كبرى لتجهيز النباتات بالنيتروجين وعلى طول فترة النمو كذلك الوقاية من احتمال تلوث التربة بالنترات . كما يجب الاخذ بنظر الاعتبار عند استعمال تلك المواد الكيمياوية هو اختيار انسب التراكيز المثبطة لعملية النترجة بحسب نوع النبات المزروع والمدة اللازمة للتثبيط ، ونوع التربة ، وسرعة عملية النترجة ، وحالة المناخ ، وكمية الاسمدة الكيميائية المضافة وغيرها من العوامل التي تؤثر في التربة وخصوصاً على عملية النترجة .

اختزال النترات وانطلاق النيتروجين :

Nitrate Reduction & Denitrification

ان خطوات معدنة النيتروجين خلال دورته تسبب انطلاقه اما على هيئة مركبات معدنية او يحول الى صور عضوية بعملية التمثيل وتؤدي عملية النترجة الى تحول صور النيتروجين من الحالة المختزلة الى صورة مؤكسدة . كما ان هناك حالة فقد للنيتروجين عن طريق تطايره الى الجو على هيئة غازات نيتروجينية وتسمى الخطوة

الاخيرة عملية انطلاق النيتروجين ومعناها اختزال الميكروبات للنترات والنتريت وانطلاق النيتروجين الغازي N_2 واكاسيد النيتروجين كاوكسيد النتروز N_2O . وفي اغلب الاحيان يكون الناتج النهائي لاختزال النترات اما N_2 او N_2O واحياناً NO وعملية تحويل النترات الى مركبات نيتروجينية غازية تسمى عملية الـ Denitrification (انطلاق النيتروجين) ، وفي هذه العملية يتكون غاز النيتروجين N_2 بوسيلة حيوية وبما ان النيتروجين وهو في هذه الحالة يكون غير جاهز للاحياء كمصدر نيتروجيني كالنترات مثلاً لذا تعد عملية انطلاق النيتروجين عملية ضارة من هذه الناحية .

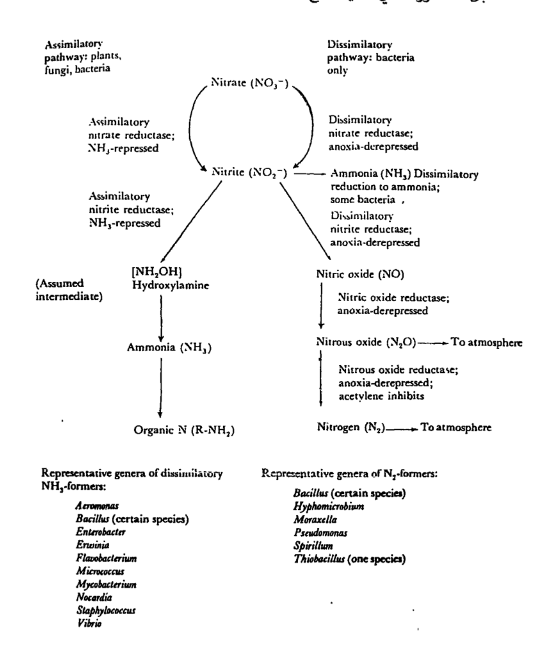
وعندما تستخدم الميكروبات ايونات النترات والنتريت كمصدر للنيتروجين اللازم للنمو فان تلك الميكروبات تختزل تلك الايونات الى الامونيا التي تساهم بتحويل صور النيتروجين الى شكل ملائم لتكوين الاحماض الامينية داخل الخلية . ولكن عملية انطلاق النيتروجين تعني فقد النيتروجين وتطايره الى الجو ولا يدخل في تكوين الخلية .

وتعد عملية انطلاق النيتروجين احدى طرق التنفس التي تحل فيها النترات محل غاز الاوكسجين لذلك يطلق عليها ايضا تسمية عملية التنفس النتراتي في حين يطلق على استخدام النترات كمادة غذائية تسمية (تمثيل النترات) وكلا الحالتين تعدان تفاعلات اختزال وان الناتج النهائي لعملية التنفس النتراتي عبارة عن غازات متطايرة ، اما في حالة تمثيل النترات فان الناتج النهائي يدخل في تركيب مكونات الخلية .

عند توفير النترات في التربة فان احتمال تصاعد مركبات غازية نيتروجينية على شكل N_2 ، N_2O ، No كنتيجة لعملية اختزال النترات خصوصاً في الظروف اللاهوائية . لذا فان عملية اختزال النترات تحدث فقط عندما تكون الظروف في التربة غير هوائية فتقوم بعض الانواع الميكروبية باستخدام الاوكسجين الموجود في المركبات النتراتية وذلك للقيام بفعالياتها الحيوية إذ يمكنها استخدام النترات كمستقبل نهائي للالكترونات ومن المحتمل ان تكون نواتج هذه العملية غاز الامونيا اضافة الى النيتروجين الجزيئي N_2 واوكسيد النتروز N_2O واوكسيد النتريك No .

ان عمليات مختلفة يتداخل بعضها ببعض في عملية اختزال النترات كما هو موضح في الشكل (١٣) حيث ان النترات تختزل الى الامونيا وهي الحالة المؤكسدة

لاستعمالها كمصدر نيتروجيني من اجل النمو وكذلك بالامكان استعمال النترات كمستقبل للالكترونات في عملية انتاج الطاقة .



شكل (١٢) موازنة بين العمليات المختلفة لاختزال النترات والاحياء المسؤولة .

الاحياء المسؤولة عن عملية اختزال النترات وانطلاق النيتروجين :

ان انطلاق النيتروجين يحدث بوساطة بعض الميكروبات المتخصصة ، وعملية اختزال النترات ليست هي العملية الوحيدة التي تعتمد عليها تلك الميكروبات بل انها تعتمد اضافة الى ذلك على تحلل البروتين وعملية النشدرة وغيرها من التحولات الحيوية .

ان البكتريا التي تسبب انطلاق النيتروجين تنتشر في الاراضي المزروعة اذ تصل اعدادها الى مليون خلية او اكثر في الغرام الواحد من التربة وتزداد اعدادها في منطقة الرايزوسفير (المنطقة المحيطة بالجذور) . ان عملية انطلاق النيتروجين تحدث في ظـروف خاصـة وهي الظروف التي تجعل الميكروبات المسؤولة تتحول من التنفس الهوائي الى القيام بعملية انطلاق النيتروجين (التنفس النتراتي) . ان الفطريات والاكتينومايسيتات لاتساهم جميعاً في عملية انطلاق النيتروجين بل يقتصر على عدد محدد من الانواع البكتيرية ذاتية او غير ذاتية التغذية ، من أهمها :

Paracoccus **denitrificans**
Pseudomonas denitrificans
Pseudomonas aeruginosa.
Bacillus Licheniformis.
Thiobacillus denitrificans
Chromobacterium Sp.
Hyphomicrobium *Sp.*
Corynebacterium Sp.
Serratia Sp.

وقد وجد أن ميكروب *Parococcus denitrificans* ذاتي التغذية اختياراً ينمو بوجود الهواء او عدم وجوده عند توفر المواد العضوية او الهيدروجين مصدراً للطاقة ومستخدماً الاوكسجين أو النترات كمستقبل للهيدروجين . أما ميكروب *Ti obacillus denitrificans* ذاتي التغذية الكيمياوية المؤكسد للكبريت فله القدرة على النمو اللاهوائي عند توفر املاح النترات حيث يمكنه استخدام الكبريتيد والكبريت العنصري او الثايوكبريتات كمصدر للطاقة ويحولها جميعاً الى كبريتات ويحول كذلك النترات الى النيتروجين الجزيئي N_2 كما في المعادلات الآتية : ـ

$$5S + 6\,KNO_3 + 2H_2O \rightarrow K_2SO_4 + 4KHSO_4 + 3\,N_2$$

$$5K_2S_2O_3 + 8\,KNO_3 + H_2O \leftarrow 9K_2SO_4 + H_2SO_4 + 4\,N_2$$

أما الاحياء غير ذاتية التغذية والمذكورة آنفاً فتتمكن ايضاً من استخدام المواد الكاربوهيدراتية كالكلوكوز مثلاً كمصدر للطاقة وتستطيع ايضاً اختزال النترات وتحرر غاز النيتروجين :

$$C_6H_{12}O_6 + 24\,HNO_3 \rightarrow 24\,H_2CO_3 + 6\,CO_2 + 18\,H_2O + 12\,N_2$$

وهناك عوامل بيئية اساسية تؤثر في الميكروبات التي تقوم بعملية انطلاق النيتروجين منها عوامل طبيعية ، وكمية المادة العضوية في التربة ، والتهوية ، ومستوى الرطوبة ، درجة الاس الهيدروجيني ودرجة الحرارة .

إن عملية انطلاق النيتروجين تكون اقل في الاراضي التي تفتقر الى وجود الكاربون ويعتمد مدى كفاءة المادة العضوية على تشجيع انطلاق النيتروجين في الاراضي المغمورة بالما مع مدى قابلية هذه المواد للاستخدام من قبل الميكروبات .

ويعد الاوكسجين مں مل أنبيئيہ الحسابسة المحددة لنمو بكتريا انطلاق النيتروجين ويعزى ذلك الى تأثير هذا الغاز في واحد او اكثر من الميكروبات التي تقوم بهذه العملية .

كما ان انطلاق النيتروجين في الاراضي الجيدة الصرف يرتبط ارتباطاً واضحاً بمستوى الرطوبة حيث تزداد عملية انطلاق النيتروجين من النترات المضافة بارتفاع نسبة الرطوبة في الاماكن السيئة الصرف وذلك لتحديد مدى انتشار الاوكسجين الى مواقع نشاط الميكروبات المسؤولة .

ويعد الاس الهيدروجيني كذلك من العوامل البيئية المؤثرة في نشاط بكتريا انطلاق النيتروجين اذ تعدَ معظم هذه الانواع من البكتريا حساسة للتركيز العالي من ايون الهيدروجين .

كما ان درجة الحرارة تقوم بدور اساسي في عملية انطلاق النيتروجين اذ ان اقصى معدل للعملية تكون عند درجة حرارة بين ٢٥° م و ٣٥° م ويمكن للعملية ان

تستمر حتى درجة ٦٥° م ولكنها تتوقف تماماً عند درجة ٧٠° م أو أكثر. كما إن العملية تكون بطيئة عند درجة حرارة ٢° م أو أقل.

ويشير تصاعد غاز النيتروجين N_2 بسرعة عند درجات الحرارة العالية الى وجود ميكروبات تفضل الحرارة العالية متخصصة في هذه العملية.

انطلاق النيتروجين والتلوث البيئي (تلوث الهواء) :

ان عملية انطلاق النيتروجين تؤثر تأثيراً سلبيا ومباشراً في خصوبة التربة فهي تؤدي الى اختزال النترات وتقليل كميتها في التربة ، وان الدراسات الحالية تشير الى ان هذه العملية تؤدي الى فقدان كمية كبيرة من نيتروجين التربة ولهذا السبب لا بد من السيطرة على هذه العملية بتغيير الظروف التي تشجعها وهي التي اشير اليها سابقاً. كما ان عملية انطلاق النيتروجين تساهم بتلوث الهواء الجوي باوكسيد النتروز N_2O الذي يكون له دور في ازالة جزء من الاوزون O_3 وتحطيمه في الجو.

هناك طبقة متموجة يصل سمكها قرابة (٣ كم) وتقع على ارتفاعات عالية وفي الغلاف الغازي المحيط بالارض (على بعد حوالي ٢٥ كم) وتحتوي على كمية حيوية من جزئية الاوكسجين O_3 (بحدود ٠,٠٠١ بالمائة) وهي تعرف بطبقة الاوزون اذ يتحول الاوكسجين الى بخار سام ذي لون مائل الى الزرقة يعرف بالاوزون نتيجة لتفاعلات ضوئية على ارتفاعات كبيرة :

$$O_2 \xrightarrow{Light} 2O \xrightarrow{2\,O_2} 2\,O_3$$

ان لهذه الطبقة اهمية كبرى لامتصاصها اشعة الشمس فوق البنفسجية الضارة اذ ان استمرار نقص هذه الطبقة حول الارض سوف يؤدي الى زيادة تعرض الانسان للاشعة فوق البنفسجية مسببة سرطان الجلد كما يؤدي ذلك الى حدوث اضرار في الحيوان والنبات على حد سواء.

ان الميكروبات تقوم بدور اساس في دورات اكاسيد النتروجين في الجو ولذلك تؤثر بصورة غير مباشرة على تعرض الحياة على كوكب الارض للتأثيرات الضارة للاشعة فوق البنفسجية. اضافة الى تسرب كميات من NO و NO_2 الى الجو نتيجة لاحتراق الفحم والبترول والغازات الطبيعية وغيرها من انواع الوقود التي تستخدم في

الصناعة ووقود السيارات فهناك دراسات تشير الى ان الميكروبات لها دوراً ايضاً في انطلاق هذه الغازات الملوثة الى الجو بكميات تفوق بدرجة عالية (قد تصل الى عشرات المرات) الكميات الناتجة عن فعل الانسان . حيث تعمل ميكروبات التربة والبحار على انتاج اوكسيد النتريك NO الذي يتأكسد بدوره في الجو الى NO_2 وكذلك يعد انطلاق اوكسيد النتروز N_2O نتيجة فعالية الميكروبات في اختزال النترات من المخصبات الكيميائية النيتروجينية التي تضاف بكميات كبيرة جداً للتربة كسماد نيتروجيني .

ان غاز N_2O لا يعد ضاراً عند وجوده قرب سطح التربة بتراكيز قليلة ولكن اذا كان هذا الغاز ينطلق بكميات كبيرة فبالامكان وصوله الى طبقات الجو العليا ويؤدي دوراً في ازالة جزء من مركب الاوزن .

وكما ذكرنا سابقاً فان الاوزون يعد حاجزاً ضرورياً لحماية الكائنات الحية الدقيقة من التأثير الضار لفعل الاشعة فوق البنفسجية عند اطوال موجات اقل من 300nm وكما اشرنا فان غياب هذا الحزام الواقي ضد الاشعة فوق البنفسجية يحتمل ان يؤثر في الانسان ويحد من نمو النباتات وخلق حالة غير متوازنة على سطح الكرة الارضية تشمل جميع الكائنات الحية . وتدخل ميكروبات انطلاق النيتروجين في التأثير في مركب الاوزون نظراً لانتاجها الغاز N_2O بعملية اختزال النترات الموجودة في المركبات النيتروجينية المستخدمة كاسمدة بهدف زيادة الانتاج الزراعي ، اذ ينتشر غاز اوكسيد النتروز في طبقات الغلاف الجوي ويتأكسد الى اوكسيد النتريك NO . وبالتالي فان كلاً من N_2O , NO يعملان على تدمير بعض الكميات من الاوزون حسب المعادلات الاتية :

$$N_2O + O \rightarrow 2NO$$
$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$$
$$O_3 \rightarrow O_2 + O$$
$$NO_2 + O \rightarrow NO + O_2$$

ان بعض العلماء يعلل ازالة بعض جزيئات الاوكسجين من طبقة الاوزون يعود الى تراكيز اوكسيد النتريك المصاحبة لزيادة غازات الغلاف الجوي خلال فترات الفعالية الشمسية العالية وتعد هذه احدى النظريات الرئيسة التي تفسر مشكلة تلاشي الاوزون ونقصه وما تزال الدراسات مستمرة في هذا المجال لايجاد السبب الرئيس المؤثر في هذه الطبقة .

وتشير قياسات النصف الاول من عام ١٩٨٨ التي اجراها جمع من العلماء في محطة مكموردو (Mecmurdo) في القطب الجنوبي الى ان مستويات اكاسيد النيتروجين في فجوة الاوزون المكتشفة هناك قليلة جداً. وهناك اجراءات مستقبلية لحماية طبقة الاوزون ومنها الحد من المواد الكيميائية التي تؤثر في هذه الطبقة وايجاد البدائل فمثلاً قامت اليابان بعد النصف الثاني من عام ١٩٨٨ من جانبها بتقليل استعمال الكلورفلور كاربون في المواد التي تدخل في صناعة المنظفات الصناعية وتخفيضها الى النصف بحلول عام ١٩٩٩ وايجاد بدائل غير ضارة بطبقة الاوزون حيث ان اليابان تصنع حوالي ١٥ ٪ من جملة انتاج العالم من هذه الكيمياويات . يعد مركب الكلورفلور كاربون اهم مدمر لطبقة الاوزون اذ ان له تأثيراً مشابهاً لتأثير غاز CO_2 وذلك في حجز بعض الاشعة تحت الحمراء عن الارض وهذا مايجعله محتفظاً بالحرارة على سطحه . ان المواد المذكورة في اعلاه ترتفع ببطء الى طبقة الستراتوسفير التي تمتد الى مسافة ٢٠ كم فوق طبقة الاوزون وبسبب تأثير اشعة الشمس تتحول الى ذرات الفلور والكلور التي يرجع اليها السبب في تدمير حزام الاوزون الواقي .

بسبب استنزاف طبقة الاوزون من الجو نتيجة لتصاعد الابخرة الكيمياوية وغيرها ، وحدوث ظواهر اخرى مثل تسمم التربة والماء بالاسمدة والمبيدات وظاهرة البيوت الخضراء ، اتجه العلماء في العالم الى مكافحة التلوث بهدف تشجيع مشروعات التنمية والتخفيف من غائلة الفقر في العالم الثالث بطريقة لاتضر بالبيئة . ويجب ان يكون هناك تضامن انساني بين الجيل الحالي والمستقبل يهدف الى هذه الغاية وهي منع التلوث او التقليل منه قدر الامكان .

مما تقدم يتضح ان الميكروبات تقوم بدور حرج غير مباشر في دورة الاوزون في طبقات الجو اذ تعمل على تقليل الكميات الموجودة منه مؤدية بذلك الى الحد من الحماية الطبيعية ضد فعل الاشعاعات الضارة . ومن المعتقد حالياً ان الاستعمال الكثيف للاسمدة النيتروجينية بهدف رفع القيمة الغذائية لسكان المناطق الفقيرة في كثير من دول العالم والحصول على الطعام اللازم لمواجهة الزيادة المستمرة في تعداد السكان قد يؤدي الى تراكم كميات كبيرة من النترات اثر اكسدة هذه الاسمدة وبالتالي ينتج الكثير من غاز اوكسيد النتروز N_2O عند اختزال هذه النترات المتكونة . وعلى الرغم من عدم توفر الادلة الكافية على كيفية حدوث تغيير واضح في محتوى الغلاف الجوي من غاز اوكسيد النتروز الا ان امكانية حدوث التغييرات المهمة الناشئة عن وجود هذا الغاز تدعو بلا شك الى اجراء المزيد من الدراسه في هذا المجال من اجل تحديد الدور الذي يقوم به هذا الغاز في التأثير في طبقة الاوزون .

الفَصْلُ السَّابِعُ

التثبيت الحيوي للنيتروجين

Biological - Nitrogen Fixation

ان اهمية عنصر النيتروجين تأتي من كونه يدخل في تركيب البروتين والاحماض النووية في الخلية الحية . كما ان وجوده بشكل غاز في الهواء يجعله عديم الفائدة مالم يتحد مع الهيدروجين لتكوين الامونيا او مع الاوكسجين لتكوين النترات مثلاً . ان عملية الاتحاد هذه يمكن الحصول عليها بعد تحويل النيتروجين الى شكل قابل للدخول في تفاعلات الايض التي تعتمد عليها جميع اشكال الحياة . ان تحول النيتروجين الى الشكل الذي يؤهله للدخول في الفعاليات الحيوية يمكن ان يحصل بطريقة حيوية بوساطة الاحياء المجهرية بعملية تدعى : تثبيت النيتروجين **Nitrogen Fixation** وتعرف بأنها عملية اختزال النيتروجين الجوي الى امونيا بمساعدة انزيم النيتروجنيز **Nitrogenase** وتوفر مصدراً للطاقة **ATP** وايون موجب ثنائي التكافؤ مثل المغنسيوم **Mg** او المنغنيز Mn^{++} او غيرهما مع وجود عامل اختزال **Reductant** يمنح الالكترونات ومستلم الالكترونات الذي يختزل . وتثبيت النيتروجين اما ان يكون بصورة لاتكافلية (حرة) او بصورة تكافلية .

ان النيتروجين يزال باستمرار من التربة خلال عملية او فعل الغسل **Leaching action** للماء الذي يزيل النترات بعد تكوينها ومن ثم فلا بد من اضافة النيتروجين الصالح للاستعمال باستمرار الى التربة للحفاظ على المحتوى النيتروجيني لها .

يكون التجهيز الطبيعي للنيتروجين المثبت محدوداً جداً ويشمل : ــ

١ ــ كميات قليلة من النيتروجين المثبت على شكل ايونات الامونيوم والنترات الموجودة في ماء المطر .

٢ ــ زيادة خصوبة التربة قد تضيف نيتروجين مثبت كزيادة محتوى التربة من المادة العضوية وغيرها .

ان العمليتين السابقتين لاتعوض كمية النيتروجين المفقود من التربة بوساطة عملية اختزال النترات Denitrification لذا لا بد من تثبيت النيتروجين بطرق اخرى ، وتمثل الكائنات المجهرية اكثر الوسائل اهمية في عملية التثبيت هذه .

ان ٨٥ ٪ تقريباً من النيتروجين المثبت هو نيتروجين مثبت حياتياً ، اذ ان تثبيت النيتروجين صناعياً يكون بكميات قليلة . ان عملية التثبيت تستهلك كميات كبيرة من النيتروجين الجوي تقدر بـ ٢٠٠ / ١٠^٦ طن سنوياً بالطرق الحيوية والصناعية اضافة الى كميات اخرى مساوية لها تقريباً تستهلك عن طريق الترسيب في البحر وفي القشرة الارضية على شكل املاح النترات والنتروز والامونيوم . ان تعويض هذه الكمية الكبيرة يتم بواسطة طريقتين رئيسيتين هما :

أ ـ عملية اختزال النترات Denitrification ، اذ تتحول فيها النترات الى نيتروجين جزيئي N_2 او اوكسيد النتروز N_2O في اغلب الاحيان .

ب ـ التعويض عن طريق التطاير Volatilization حيث يتم تعويض النيتروجين الجوي عن طريق تطاير الامونيا من التربة الى الجو لقلة امتصاص جزيئات التربة لها ، وتقدر كمية النيتروجين المتطاير على هيئة غازات نيتروجينية الى الجو بـ ١٨٥ × ١٠^٦ سنوياً .

ان عملية تثبيت النيتروجين تجري كما بينا آنفاً بمساعدة انزيم النتروجينيز والصفات لهذا الانزيم هو وجود نوعين من البروتين اللذين يحتويان على بعض المعادن :

١ ـ البروتين الاول : يحتوي على المولبدنوم Mo والحديد وكبريت في مجموعة الثايول ويدعى هذا البروتين : Mo – Fe protein ويرمز له بالحرف (X) ويطلق عليه ايضا Molybdoiron protein ويتراوح وزنه الجزيئي بين (١٠٠,٠٠٠ ـ ١٢٠,٠٠٠)

٢ ـ البروتين الثاني : يحتوي على حديد وكبريت ويدعى بروتين(Iron protein) Fe : ويرمز له بالحرف (Y) ووزنه الجزيئي حوالي (٥٠,٠٠٠) .

ان البروتينين المذكورين آنفاً يكونان غير فعالين عند وجودهما بصورة منفصلة ، الا ان جزيئة الانزيم الفعالة تتكون من اتحاد هذين الجزأين بعضهما ببعض وهناك تشابه كبير في الوظيفة والتركيب الكيمياوي لهذا الانزيم حتى في حالة كون الكائنات الحية التي يستخلص منها بعيدة في السلم التصنيفي .

ان لانزيم النيتروجنيز القدرة على نقل الالكترونات من حوامل الالكترونات الى النيتروجين وله القدرة ايضاً على نقل الكترونين فقط في كل حالة يشترك فيها وهناك اقتراح بحصول ثلاث حالات لانتقال الالكترونات ليصبح مجموع الالكترونات المنقولة ستة وذلك لاختزال جزيئة النيتروجين الى امونيا كما هو موضح كالاتي :

$N_2 + H_2 \rightarrow N_2H_2$ (di – imide)

$N_2H_2 + H_2 \rightarrow N_2H_4$ (hydrazine)

$N_2H_4 + H_2 \rightarrow 2\,NH_3$ (ammonia)

كما ان عملية تثبيت النيتروجين تحتاج الى مانح للالكترونات : **Electron donor** كما تحتاج ايضاً الى حامل للالكترونات : **Electron carrier** . فبالنسبة لمانح الالكترونات فانه يختلف باختلاف الاحياء من الناحية الفسلجية وباختلاف طرق معيشتها . فالاحياء المجهرية الحرة المعيشة وغير ذاتية التغذية واللاهوائية مثال بكتريا **Clostridium** فيكون مانح الالكترونات كاربوهيدراتي مثل البايروفيت **pyruvate** و والفاكيتوكلوتاريت **∝ – Keto glutarate** . ويكون محرراً الالكترونات بعملية التخمر **Fermentation** . اما في الاحياء الهوائية فان الالكترونات تتحرر عن طريق الاكسدة . وبالنسبة للاحياء الهوائية التي تعيش بصورة تكافلية مع النبات فان النبات يقوم بتوفير المواد الوسطية التي تكون مصدراً لتلك الالكترونات فلقد وجد ان **$NADPH_2$** يشكل مانحاً للالكترونات كما هو الحال في بكتريا الـ ***Azotobacter vinelandii*** ، على الرغم من ان الـ **NADP** يعد حاملاً للالكترونات لا محرراً لها ، ولكن بما ان هذا المركب لايملك القدرة على تمرير هذه الالكترونات الى انزيم النيتروجنيز مباشرة دون حملها بوساطة مواد لذلك يمكن عدّه مانحاً للالكترونات في هذه الحالة ولذلك تنتقل الالكترونات فيه الى حاملها الآخر ثم الى انزيم النيتروجينز .

كذلك فان عملية تثبيت النيتروجين تحتاج الى مايحمل الالكترونات وهذه المواد لها القدرة على حمل الالكترونات ونقل من انزيم الى آخر. ان حاملات الالكترونات التي تشترك في عملية تثبيت النيتروجين هي من نوع الفيرودوكسينات **Ferrodoxins** والفلافودوكسينات **Flavodoxins** التي لها القدرة على نقل الالكترونات الى انزيم النيتروجنيز الذي يساعد بدوره على اختزال النيتروجين الجزيئي الى امونيا ..وقد تم

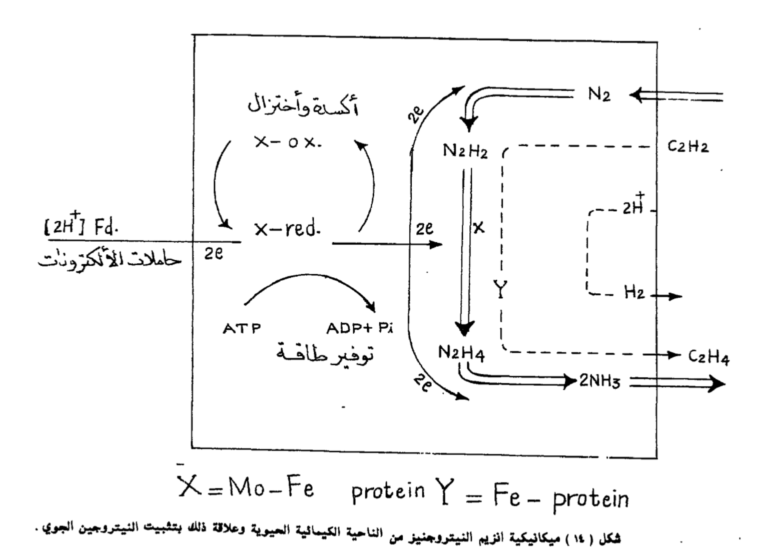
العثور على هذه الحوامل في بكتريا لاهوائية اختيارية وبكتريا هوائية وبكتريا تكافلية مثبتة للنتروجين وبكتريا لاهوائية مجبرة وبكتريا ضوئية التغذية والطحالب الخضراء المزرقة وفي النباتات ايضاً .

تتميز حاملات الالكترونات هذه بامتلاكها جهد اكسدة واختزالاً واطئاً اي انها تستطيع استلام الالكترونات من مواد لها جهد اكسدة واختزال اعلى منها مثل : $NADP\ H_2$ ثم تحوّلها الى مواد اوطأ جهداً وكذلك بتفاعلاتها العكسية عندما تتأكسد وتختزل ، اي ان لها القدرة على التحول من حالة اكسدة الى حالة اختزال وهذا التحول عكسي . ان عمل هذه الحاملات ليس انزيمياً حيث اتضح مؤخراً بانهما المختزلان الطبيعيان الوحيدان لانزيم النيتروجنيز .

ان البحث مايزال مستمراً حول تفاصيل عملية تثبيت النيتروجين وظهر من نتائج الابحاث ان بروتين ـ Fe من انزيم النيتروجنيز هو الذي يختزل اولاً بوساطة حامل الالكترونات الفيرودوكسين **Ferrodoxin** في الخلية الحية ثم يقوم الـ **ATP** بتوفير طاقة لتنشيط الالكترونات المنقولة الى البروتين هذا لكي يتم نقلها الى الجزيئة الثانية من البروتين في انزيم النيتروجنيز وهو بروتين ـ **Mo – Fe** الذي يقوم باختزال النيتروجين الجزيئي الى امونيا .

ان حاملات الالكترونات الفيرودوكسينات **Ferredoxins** هي عبارة عن بروتينات تحتوي على الحديد والكبريت ولها القدرة على الاختزال والتأكسد بصورة عكسية وتملك جهد اكسدة واختزال واطيء وتشترك هذه البروتينات في تفاعلات عديدة مثل اختزال انزيم النيتروجنيز وانزيم الهيدروجنيز وغيرها . اما الفلافودوكسينات **Flavodoxins** فهي ايضاً بروتينات تنتمي الى مجموعة الـ **Flavoprotein** وفعاليتها الحيوية مشابهة للفيرودوكسينات لكنها اقل كفاءة في نقل الالكترونات لان لها جهد اكسدة واختزالاً اعلى بقليل من جهد الفيرودوكسينات .

أن بروتين ـ **Mo – Fe** هو الذي يقوم باختزال النيتروجين الجزيئي الى الامونيا ، في حين يقوم البروتين ـ Fe باختزال الاستيلين **(C_2H_2) Acetylene** الى الاثيلين **(C_2H_4) Ethylene** شكل (١٤) .



شكل (١٤) ميكانيكية أنزيم النيتروجنيز من الناحية الكيمائية الحيوية وعلاقة ذلك بتثبيت النيتروجين الجوي .

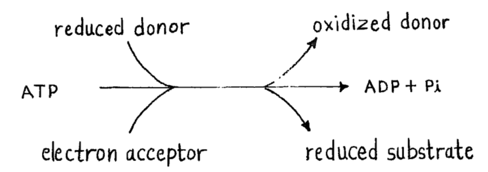
يعد النيتروجنيز انزيماً خاصاً جداً للاسباب الآتية : ــ

١ ــ يكون حساساً لدرجات الحرارة الواطئة .
٢ ــ وحساساً جداً للاوكسجين وتكون الوقاية له من الاوكسجين كما يأتي : ــ
أ ــ في البقليات بوساطة الهيموكلوبين البقلي **Leghaemoglobin**
ب ــ في بكتريا الازوتوباكتر ***Azotobacter*** بوساطة الشمع .
جـ ــ في الطحالب الخضراء المزرقة بوساطة اماكن ذات جدار خلوي سميك تعرف بالاكياس المتغايرة **Heterocysts** . اضافة الى ذلك فان هناك انواعاً بكتيرية هوائية اجبارية مثل ***Azotobacter Vinelaodii*** تستطيع استخدام الاوكسجين الموجود في البيئة عن طريق التنفس وبهذا تحتفظ ببيئة لاهوائية تحيط بأنزيم النيتروجنيز .
٣ ــ يكون حساساً جداً لايونات الامونيوم NH_4^+ .
٤ ــ يمتلك جهازاً اختزالياً واسعاً حيث يختزل الاستيلين الى الاثيلين وهذه العملية تعدّ تقنية خاصة لقياس فعالية الانزيم .

ان الجهاز الاختزالي للانزيم يشمل بالاضافة الى اختزال النيتروجين الجزيئي عمليات اختزالية اخرى وكل خطوة تحتاج الى عدد من الالكترونات وبصورة عامة تكون كما يأتي : ــ

Molecular nitrogen (N_2) ⟶ $2NH_3$ 6 electrons
Nitrous oxide (N_2O) ⟶ $N_2 + H_2O$ 2 electrons
Azide (N_3^-) ⟶ $N_2 + NH_3$ 2 electrons
Acetylene ($HC \equiv CH$) ⟶ $H_2C + CH_2$ 2 electrons
Hydrogen cyanide (HCN) ⟶ $CH_4 + NH_3$ 6 electrons
Isonitriles ($CH_3 - N \equiv C$) ⟶ $CH_4 + CH_3NH_2$ 6 electrons
Hydrated proton ($2H^+$) ⟶ H_2 2 electrons
26 electrons

ونستطيع تتبع التفاعلات في اعلاه بصورة عامة كما في المخطط الآتي : ــ



ومن ملاحظة التفاعلات الاختزالية ايضا نجد ان انزيم النيتروجينز له القدرة على اختزال البروتونات (H^+) الى غاز الهيدروجين (H_2) عند عدم توفر النيتروجين بوجود محرر الالكترونات ، وان الهيدروجين يعمل كعامل تنافسي لكنه ضعيف في عملية تثبيت النيتروجين . أما في البكتريا التي تحتوي على انزيم الهيدروجينز والفيرودوكسين مثل بكتريا الـ **Clostridium** فان غاز الهيدروجين قد يستعمل عامل اختزال في عملية التثبيت : ـ

$$N_2 + \textbf{Nitrogenase} \;\; ATP \quad \begin{matrix} \textbf{Ferrdoxin + hydrogenase} + H_2 \\ \\ \textbf{Ferredoxin} + NH_3 \end{matrix}$$

هناك طريقتان رئيستان لتقدير التثبيت الجوي للنيتروجين :

١ ـ باستخدام نظير النيتروجين $^{15}N_2$ حيث تتمكن الميكروبات المثبتة للنيتروجين من استخدام هذا الغاز ودمجه في بروتوبلازم الخلايا ، الا ان هذه الطريقة مكلفة اقتصادياً وتحتاج الى جهاز : **Mass Spectrometer** .

٢ ـ قياس مقدرة الميكروبات على تكوين غاز الاثيلين C_2H_4 من غاز الاستيلين C_2H_2 ، حيث ان الميكروبات التي لها القدرة على تثبيت النيتروجين الجوي يمكنها اختزال جزيء الاستيلين الذي يحتوي على رابطة أو آصرة ثلاثية $HC\equiv CH$ ان اختزال النيتروجين الذي يحتوي ايضاً على آصرة ثلاثية في العملية الاولى ينتج عنه تكون الامونيا :

$$N\equiv N \rightarrow 2\,NH_3$$

واختزال الاستيلين C_2H_2 ينتج عنه تكون الاثيلين C_2H_4 في العملية الثانية :

$$HC\equiv CH \rightarrow H_2C=CH_2$$

Acetylene Ethylene

يتم تثبيت النيتروجين بوساطة نوعين من الكائنات منها تعيش بصورة حرة واخرى تعيش في علاقة تكافلية مع نباتات مختلفة . ان هذه البكتريا لها القدرة على اختزال غاز النيتروجين وتحويله في النهاية الى مجموعة امين NH_2^- للاحماض الامينية التي تؤلف البروتينات . وتحدث هذه العملية في عدد من الخطوات إذ يتم تنشيط غاز النيتروجين اولاً ثم يختزل الى الامونيا . يحتاج هذا التفاعل الاجمالي الى استهلاك هائل للطاقة حيث تصرف حوالي (١٥) جزيئة ATP لكل جزيئة نيتروجين يتم تثبيتها . بعد ذلك يتم دمج الامونيا المتكونة داخل الخلية في الاحماض الامينية بوساطة عملية نقل مجموعة الامين : Transamination .

وعلى سبيل المثال فان المتطلبات اللازمة لتثبيت (١٥٠) كغم نيتروجين في التثبيت التكافلي هي (١٠٠٠) كغم كاربوهيدرات ، أي ما يعادل ١٥ ـ ٢٠ ٪ من صافي انتاج النبات من الكاربوهيدرات . أما المتطلبات اللاّزمة لتثبيت الكمية في حالة التثبيت بصورة حرة فالمثبتات الهوائية مثل **Azotobacter** و *Bejerinkia* هي (٤٠٠٠) كغم كاربوهيدرات والمثبتات اللاهوائية مثل : *Clostridium* و *Desulfovibrio* ، *Methanobacterium* . فانها تحتاج الى (٢٠٠٠) كغم لتثبيت نفس الكمية اعلاه .

وبصورة عامة فان اختزال غاز النيتروجين الى الامونيا NH_3 يحتاج أو يتطلب طاقة عالية جداً وعلى ضوء الدراسات الاخيرة قدرت تلك المتطلبات من الناحية الكيمياوية والبايوكيميائية ومن النواحي النظرية والتطبيقية كما يأتي : ـ

Chemical	K cal/ kg NH_4-N produced
Theoretical	5100
practical	1500
(production + processing)	
Biochemical	
Theoretical	5100
practical	
Rhizobium	15.000 – 20.000
Azotobacter	100.000 – 400.000

تثبيت النيتروجين بصورة لا تكافلية (بصورة حرة) :

Non Symbiotic Nitrogen Fixation

إن الاحياء التي تقوم بهذه العملية تعيش بصورة حرة في التربة وتثبت النيتروجين وذلك للاستفادة منه في بناء مكونات الخلية وبعد موت الخلايا ينطلق هذا النيتروجين المثبت داخل الاحياء الى التربة ليفيد منه النبات ويطلق على هذا النوع من التثبيت بالتثبيت اللاتكافلي للنيتروجين .

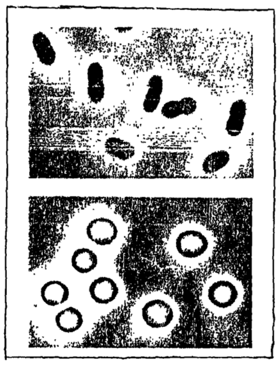
لقد تم التعرف على هذا النوع من التثبيت عندما استطاع العالم الروسي **Winogradsky** سنة ١٨٩٥ من عزل بكتريا لاهوائية في التربة لها القدرة على تثبيت النيتروجين بصورة حرة وهذا النوع هو ***Clostridium* pasteurianum** .

كما أعقب ذلك عزل بكتريا هوائية لها القدرة على تثبيت النيتروجين بصورة حرة تتبع الجنس **Azotobacter**، وبعد ذلك تم التعرف على انواع اخرى من البكتريا هوائية ولا هوائية وبكتريا التركيب الضوئي وبعض الانواع من الطحالب الخضراء المزرقة .

ان البكتريا الرئيسة التي تقوم بتثبيت النيتروجين بصورة لا تكافلية تتبع لعائلة **Azotobacteriaceae**، حيث تضم هذه العائلة انواعاً ذات كفاءة عالية في تثبيت النيتروجين الجوي . خلاياها عصوية او بيضوية سالبة لصبغة كرام ولا تكون سبورات بعضها يكون حويصلات cysts وغير ذاتية التغذية هوائية اجبارية

وتعيش في التربة والمياه وعلى سطوح اوراق النباتات . تضم هذه العائلة اربعة اجناس تختلف فيما بينها ببعض الصفات وهي :

Beijerinckia, Derxia ، ***Azomonas*** ، ***Azotobacter*** واهم الاجناس المذكورة اعلاه هو جنس الـ ***Azotobacter*** وهي اول بكتريا هوائية عرفت بقابليتها على تثبيت النيتروجين الجوي وقد عزلها العالم Beijerick سنة ١٩٠١ من التربة . خلايا هذا الجنس كبيرة بيضوية الشكل وتوجد إما بصورة منفردة او في ازواج بعضها متحرك بوساطة أسواط محيطية Peretrichous وبعضها غير متحرك . سالبة لصبغة كرام في الغالب او متغيرة الصبغة احياناً . ولا تكون سبورات الا انها تكون حويصلات cysts شكل (١٥) وتتكون الحويصلة عندما تتجمع كميات كبيرة من حامض **polyhydroxy butyric acid (PHB)** الذي يخزن في البكتريا المتقدمة في العمر ويتحول شكلها من البيضوي الى الكروي وتفقد حركتها مع ازدياد سمك جدارها وتتجع محتويات الخلية في الوسط لتكون الجسم المركزي للحويصلة الذي يحاط بغلاف داخلي يسمى Intine وغلاف خارجي يعرف بـ Exine .



شكل (١٥) يوضح البكتريا المثبتة للنيتروجين بصورة حرة للنوع : *Azotobacter Vinelandii* وتظهر الخلايا الخضرية للبكتريا الفتية بشكلها العصوي والمتقدمة بالعمر كروية ذات حوصلة .

والحويصلة تكون اقل مقاومة للحرارة من السبورات الا انها تقاوم الجفاف . تنمو بكتريا الازوتوباكتر على وسط الاكار مانيتول وتكون مستعمراتها شفافة تشبه قطرات الماء ثم تتحول تدريجياً ويصبح لونها داكناً ، أما في الاوساط السائلة فتكون اغشية بيضاء ثم تتحول الى بنية داكنة . وتكون هذه البكتريا مادة مخاطية كثيفة حول الخلية لتكون ما يشبه الحافظة **Capsule** . تحتاج البكتريا الى المركبات العضوية مصدراً للكاربون في اثناء نموها مثل السكريات والاحماض القلوية والكحول ، كما تفضل درجة حرارة بين ٢٠ ــ ٣٠° م والـ pH المفضل لها بين (٧ ــ ٧,٥) حيث انها لا تنمو في الوسط الحامضي .

يشمل جنس الـ ***Azotobacter*** على أربعة انواع جدول (١٢) اكثرها انتشاراً هو النوع ***A. Chroococcum*** . تنتشر بكتريا الازوتوباكتر في التربة والمياه وعلى اسطح النباتات والبكتريا الموجودة على اسطح جذور النباتات تكون انشط من تلك التي توجد في التربة وذلك لانها تفيد من افرازات الجذور مصدراً للكاربون . ان النوعين ؛ ***A. Chroococcum*** و ***A. vinelandii*** تعد من اكثر الانواع انتشاراً في الترب العراقية .

جدول (١٢)الصفات المهمة التي تميز الانواع البكتيرية التابعة الى الجنس *Azotobacter*

تاريخ العزل واسم العالم	الاصابة بالفاجات phage	المواطن	تكوين مواد لزجة	تكوين حوصلة	نوع الاسواط	استخدام الكاربوهيدرات Rhamnose	mannitol	starch	تكوين صبغة غير ذائبة بالماء	تكوين صبغة براقة ذائبة بالماء	الانواع
عزل عام ١٩٠١ من Beijerinck	+	التربة	+	+	محيطية Peritrichous	−	+	+	سوداء	−	*A=chroococcum*
عزل عام ١٩٠٣ من Lipman	+	التربة	+	+	محيطية peritrichous	+	+	−	−	خضراء	*A.Vinelandii*

عزل عام ١٩٠٤ من Beijerinck	+	التربة	+	+	−	−	−	−	بنية	−	*beijerincki*
عزل عام ١٩٦٦ من Dobereiner	−	التربة	+	+	محيطية *peritrichous*	−	−	−	−	خضراء	*A. Paspali*

تقاس كفاءة البكتريا المثبتة للنيتروجين بتنمية البكتريا على وسط خالٍ من النيتروجين ثم تقدر كمية النيتروجين إما بطريقة كلدال **Kjeldahl** أو باستخدام النظائر المشعة ^{15}N أو اختبار اختزال الاستيلين **Acetylene Reduction Test**
ر كمية الاثيلين المتكونة من الاستيلين حيث يستعمل جهاز الـ **(G.C)** **Gas chromotc ay** لهذا الغرض كما اوضحنا ذلك سابقاً .

كما تقاس كفاءة هذه البكتريا في تثبيت النيتروجين ايضاً في المختبر بوساطة استهلاكها للسكر ، حيث يبلغ مقدار النيتروجين المثبت من اكثرية الانواع التابعة الى الـ ***Azotobccter*** من (٥ ــ ٢٠) ملغم لكل غرام واحد سكر تستهلكه البكتريا ، أما كفاءة بكتريا الـ ***Clostridium*** فتكون اقل حيث انها تثبت من (٦ ــ ٨) ملغم نيتروجين لكل غرام واحد . اما انواع الطحالب الخضراء المزرقة التي لها القابلية على تثبيت النيتروجين فتكون كفاءتها من (٣٠ ــ ١١٥) مايكروغرام نيتروجين لكل ١ سم٣ من الوسط الغذائي السائل الخاص بالطحالب لمدة ٦٠ يوم مع توفر الضوء الكافي في درجة حرارة بين ٣٠ ــ ٣٥° م .

العوامل التي تؤثر في عملية تثبيت النيتروجين بصورة لاتكافلية (بصورة حرة) :

١ ــ وجود المركبات النيتروجينية في التربة ، إذ ان وجود كميات كبيرة من املاح الامونيوم والنترات تؤدي الى تثبيط عملية تثبيت النيتروجين حيث ان الاحياء المسؤولة عن التثبيت تفضل الايونات الجاهزة كمصدر للنيتروجين وذلك لسهولة استغلالها والاستفادة منها .

٢ ــ وجود السكريات البسيطة في التربة ، اذ تعد هذه السكريات مصدراً كاربونياً سهل الاستغلال من الاحياء التي تقوم بعملية تثبيت النيتروجين بصورة حرة ، اضافة الى توفير الطاقة اللازمة لعملية التثبيت نتيجة استهلاك هذه السكريات .

٣ ــ وجود بعض العناصر الخاصة في التربة كالمولبدنيوم والحديد ، حيث يدخل هذان العنصران في تركيب جزيئة انزيم النيتروجنيز كما هو موضح سابقاً ولهذا السبب تزداد كفاءة التثبيت .

٤ ــ درجة الاس الهيدروجيني **(pH)** ، ان الوسط الحامضي يقلل من نشاط البكتريا المثبتة للنيتروجين بصورة حرة . وبصورة عامة تقل اعدادها في **pH** اقل من (٥) وهناك بعض الحالات الاستثنائية التي لاتتأثر بدرجة الحموضة

مثل الاجناس : *Clostridium , Beijerinckia*

٥ ــ **درجة الحرارة** : إن الدرجة الحرارية المثلى ــ بصورة عامة ــ لعملية تثبيت النيتروجين بصورة حرة تقع بين ٢٠ و٣٠° م حيث ان نشاط البكتريا المسؤولة تقل في درجات الحرارة العالية والواطئة على حد سواء .

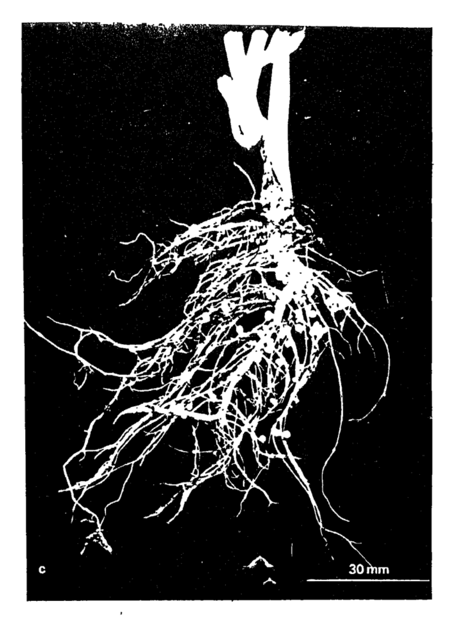
٦ ــ **الرطوبة والتهوية** : ان الرطوبة المناسبة لعملية التثبيت هي الرطوبة الواقعة بين ٦٠ ــ ٦٥ ٪ من القابلية التشبعية للتربة حيث ان الجفاف غير ملائم لعملية التثبيت . كذلك تكون الرطوبة الزائدة وخصوصاً في التربة الغدقة حيث تتوفر ظروف لاهوائية غير ملائمة لعملية التثبيت ما عدا بعض البكتريا اللاهوائية اختيارا مثل بكتريا *Clostridium* وهي في الغالب اقل من البكتريا الهوائية التي لها القدرة على تثبيت النيتروجين بصورة حرة .

٧ ــ وجود بعض الفاجات المتخصصة في اصابة الانواع التي تقوم بعملية التثبيت في التربة . فكلما كانت اعدادها كبيرة في التربة فهناك احتمال شل حركة ونشاط تلك البكتريا مما تقلل من كفاءة تثبيت النيتروجين .

تثبيت النيتروجين بصورة تكافلية : Symbiotic Nitrogen Fixation

هناك مجموعة من الاحياء تعيش تكافليا مع بعض النباتات ولا تتمكن من تثبيت النيتروجين الا عند وجودها في النبات . وفي هذه الحالة تستفيد الاحياء المجهرية والنباتات من النيتروجين المثبت ويطلق على هذه العملية تسمية التثبيت التكافلي للنيتروجين . والتكافل لغوياً يعرف « بالعيش معاً » Living together وقديماً كانت تطبق على العلاقات التطفلية اما حالياً فتستعمل لوصف العلاقات ذات المنفعة المتبادلة . والتي نحن في صددها .

ان اهم الاجناس التي تثبت النيتروجين بصورة تكافلية هو جنس الرايزوبيوم *Rhizobium*. تنتمي هذه البكتريا الى عائلة Rhizobiaceae ولها القدرة على تكوين عقد جذرية على جذور النباتات البقلية شكل (١٦) . وهي عبارة عن خلايا عصوية هوائية سالبة لصبغة كرام ، متحركة ولا تكون سبورات . تستخدم بكتريا الرايزوبيوم مصادر كاربون عضوية مختلفة مثل المانيتول والكلوكوز ومصدراً نيتروجينياً كالامونيا والنترات . اما في حالة خلو الوسط من اي مصدر نيتروجيني



شكل (١٦) يوضح العقد على جذور نبات الباقلاء المتكونة بوساطة بكتريا الـ

Rhizobium leguminosarum

فانها تستخدم النيتروجين الجوي . ويستخدم وسط **Manitol yeast Extract Agar** لعــزل بكتـــريا الرايزوبيوم اذ تنمو على شكل مستعمرات شفافة مخاطية يتحول لونها بالتدريج الى اللون الابيض .

تقسم بكتريا الرايزوبيوم الى مجاميع حسب العائل النباتي الذي تصيبه ، إذ ان عدد هذه المجاميع يكون حوالي (٢٥) مجموعة درست ستة مجاميع منها باسهاب . جدول (١٣) وهي التي وصفها العالم عام ١٩٥٨ Jensen

جدول (١٣) الانواع البكتيرية التابعة لجنس الرايزوبيوم والمجاميع النباتية البقلية التي تصيبها :

انواع الرايزوبيوم Rhizobium	المجاميع النباتية التي تصاب بها	
R. meliloti	مجموعة الجت	Alfalfa group
R. trifolii	مجموعة البرسيم	Clover group
R. leguminosarum	مجموعة البازلاء	Pea group
R. phaseoli	مجموعة الفاصوليا	Bean group
R. lupini	مجموعة الترمس	Lupin group
R. japonicum	مجموعة فول الصويا	Soybean group

من التقسيمات المعتمدة للتمييز بين تلك المجاميع هي زمن الجيل Generation Time ومقدار انتاجها للحموضة وعدد الاسواط وترتيبها ، فمثلاً الانواع الاربعة الآتية : ـ

R. Phaseoli ، R. leguminosarum ، R. meliloti ، R. trifolii

لها زمن جيل بين (٢ ـ ٤) ساعات ومنتجة للاحماض في الوسط الذي تنمو فيه كما انها تتحرك بوساطة (٢ ـ ٦) اسواط محيطية . في حين يكون زمن الجيل للانواع الاخرى مثل :

R. japonicum ، **R. lupini** بين (٦ ـ ٨) ساعات ويجعلان الوسط قلوياً ويتحركان بسوط واحد طرفي .

هناك جنس بكتيري موجود في التربة هو **Agrobacterium** يكون مشابهاً تماماً لبكتريا العقد الجذرية وبعض انواعه تسبب امراضاً للنبات كمرض التضخم التاجي كالنوع **A.tumefaciens** وانواع اخرى تستوطن سطوح جذور النباتات وغير ممرضة مثل النوع **A. radiobacter**

بكتريا العقد في التربة :

عندما تتحلل العقد الجذرية تتحرر البكتريا الى التربة وعند غياب العائل النباتي المناسب فانها تموت بالتدريج . ولقد وجد العالم Vincent عام ١٩٥٤ ان بكتريا العقد في التربة قد تقاوم في البقاء على الاقل (١٠) سنوات .
وليس من الغريب بعد ذلك ان نرى نقصاً كبيراً في عدد بكتريا العقد في الترب التي لم تزرع ابداً بمحصول بقلي ، ولكن بوجود العائل النباتي المناسب فان البكتريا تنمو وتزداد اعدادها في منطقة الجذور وتصل الى ١٠ ^{٥} ــ ١٠ ^{٧} خلية لكل غرام تربة . كذلك فان بكتريا العقد الجذرية توجد في منطقة الجذور للنباتات غير البقلية ولكن ليس باعداد كبيرة .

هناك عامل جذب متخصص من جذر العائل وجد من خلال التجارب ولكن لاتوجد مادة معروفة ترجع الى النباتات البقلية بالضبط حتى الآن . فمثلاً البايوتين Biotin (وهو فيتامين يكون في الخميرة والكبد وصفار البيض) تفرزه جذور النباتات البقلية بكميات كبيرة ولكن عملية استهلاك احياء التربة المجهرية هذا الفيتامين غير معروفة . وحالما تكون العقدة الجذرية فلا مجال لعقدة اخرى معقبة على التكوين ، ويحتمل ان يكون هذا بسبب إفراز المواد المشابهة لل gibberellin من قبل الجذر . افرازات الجذور ربما تؤخذ بالحسبان نظراً للاختلافات بين النباتات التي يكون قسم منها عقداً جذرية بسرعة مع تلك التي تكون عقداً جذرية ببطء . ان هذه الاستجابات تم السيطرة عليها بعوامل وراثية تعمل بوساطة تأثيرها في معدل المواد المشجعة على حدوث الاصابة .

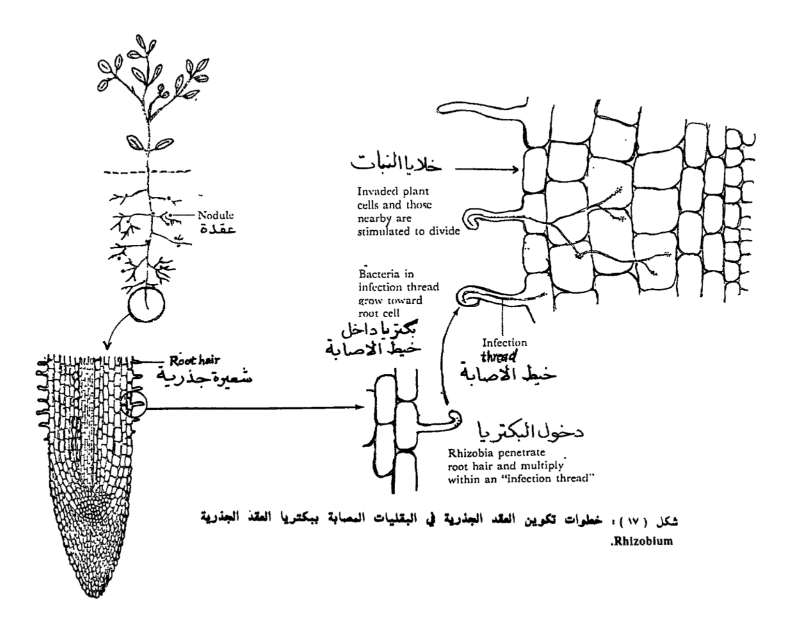
الاحياء الاخرى في التربة بامكانها ان تؤثر في بكتريا العقد الجذرية فالعالمان **Holland** و **Parker** عام ١٩٦٦ اقترحا ان فشل حدوث العقدة في الترب الحديثة غرب استراليا سببه وقف نشاط بكتريا ال**Rhizobium** بوساطة المضادات الحيوية الناتجة من الفطريات النامية على وفرة من المواد العضوية المتحللة في الترب المذكورة .

تطور العقد وتركيبها : Development & Structure of the nodules

اصابة جذور البقليات يحدث عادة خلال الشعيرات الجذرية شكل (١٧) التي تستطيل وتخشن وتصبح غير منتظمة . واستطالتها ربما تتحفز بوساطة حامض الـ Indol Acetic Acid (IAA) الذي تحلله بكتريا العقد الجذرية من التربتوفان السابق له وهو الذي تفرزه الجذور غير ان السبب في تشوه الشعيرة الجذرية غير معروف . تحدث الاصابة عادة في نقطة نمو الشعيرة وقد اقترح العالمان Dart و Mercer عام ١٩٦٤ ان البكتريا تلصق نفسها هناك بوساطة الاهداب .

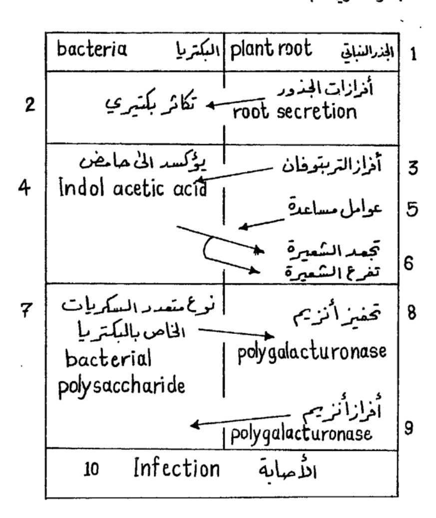
ان بناء التركيب الخلوي لبكتريا العقد ربما يكون في المادة اللزجة او في طيات الشعيرة الجذرية المتجعدة وبعد ذلك تحث بقية التغييرات . ولقد اقترح العالمان Fahraeus و Ljunggren عام ١٩٥٩ أن البكتريا والنبات معاً ينتجان انزيم الـ polygalacturonase الذي يضعف بصورة رئيسة الجدار البكتيني في منطقة النمو للشعيرة الجذرية . كما انهما اقترحا ايضاً أن تكون الانزيم يحث او يحفز من متعدد السكريات polysaccharides الذي تنتجه البكتريا ، ونظراً لاختلاف متعدد السكريات فإن الاختلافات بين بكتريا العقد الجذرية تصنف على هذا الاساس ، ومن الممكن ان يكون هذا التعليل دليلًا او قاعدة لنوعية العلاقات المتداخلة بين البكتريا والنبات . على اية حال فالعالمان Lillich و Elkan ١٩٦٨ وجدا ان معدل فعالية انزيم الـ polygalacturonase في الرواشح المستخلصة من الجذور الملقحة ببكتريا العقد الجذرية لم تكن ذات معنوية تفوق تلك الرواشح المستخلصة من جذور النباتات غير الملقحة . بعض التداخلات المقترحة بين البكتريا وجذور النبات العائل قبل الاصابة قد بينها العالم Nutman ١٩٦٥ كما في الشكل (١٨) .

ان ضعف جدار الخلية النباتية يؤدي الى تكوين خيط الاصابة Infection thread ولكن ميكانيكية انتاج هذا الخيط غير واضحة . العالمان Dart و Mercer عام ١٩٦٤ افترضا ان الشبكة الليفية لجدار الشعيرة الجذرية ذات حرية او عدم ثبات كافٍ لان تسمح بمرور بكتريا العقد الجذرية وهذه الفرضية ربما تؤيد كون خيط الاصابة مصنوعاً من الشعيرة الجذرية كوسيلة دفاع ضد بكتريا العقد اكثر من كونه استمراراً طبيعياً لنمو الشعيرة الجذرية . اما العالم Nutman عام ١٩٥٦ فقد اقترح ان اتجاه نمو الشعيرة الجذرية قد يكون عكسياً بعد الاصابة مما يسبب ما يشبه الغمد



شكل (١٧) : خطوات تكوين العقد الجذرية في البقليات المصابة ببكتريا العقد الجذرية Rhizobium.

او انبعاج الجدار . وبالتأكيد فإن خيط الاصابة يمكن ان يشاهد داخل الشعيرة الجذرية متحداً مع الجدار الخلوي ، ويمكن ايضاً ان يشاهد بأنه مصنوع من مكونات الجدار الخلوي للنبات .

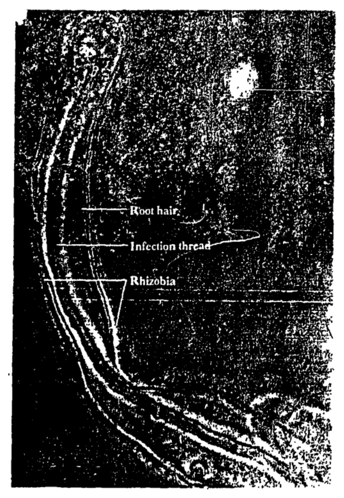


شكل (١٨) التداخلات المحتملة بين بكتريا العقد الجذرية *Rhizobium* وبين جذور النباتات البقلية قبل الاصابة (عن كري ووليام ١٩٧٩) .

خيط الاصابة ينمو خلال الشعيرة الجذرية عموماً باتجاه النواة التي تظهر زيادة في فعاليتها في هذا الوقت حتى تصل الى حدود الخلية (شكل ١٩) . ومن هذا الموقع الجديد يتحفز تكوين خيط اصابة جديد يمر الى الخلية التالية وهذا الخيط يستمر حتى يصل الى لحاء الجذر . في منطقة اللحاء Cortex تكون الخلايا التي هي ضعف المحتوى الطبيعي من الكروموسومات Tetraploid (رباعية المجموعة الكروموسومية) وهي عادة ما تتحدد او تشترك مع المناطق المكونة للطبقات الخارجية للجذر هي التي تصاب بالبكتريا . بعد ذلك ينفجر خيط الاصابة وتتحرر بكتريا الرايزوبيوم الى سايتوبلازم الخلية ، وهذه الخلية والخلايا المجاورة لها تنقسم بعد ذلك باستمرار حتى تكون العقدة الناضجة . وعندما تكون الخلية الجذرية طبيعية وثنائية المجموعة الكروموسومية Diploid فإنها ستتضرر بالاصابة ثم تتلاشى ولا تكون عقداً . الخلايا المصابة تكون منتفخة وتحتوي على خضاب الهيموكلوبين في حين تتفرق الخلايا غير المصابة الى المنطقة اللحائية والانسجة المرستيمية (نسيج جنيني مؤلف من خلايا قادرة على الانقسام غير المحدود) والانسجة الوعائية . ان حوالي ٥ ٪ من اصابة البقليات بالبكتريا المتخصصة تؤدي في النهاية الى تكوين العقد .

ان بكتريا العقد بعد وصولها الى اللحاء عن طريق خيط الاصابة تتكاثر بصورة سريعة داخل خلايا اللحاء ، كما ان الخلايا النباتية المصابة يزداد حجمها بصورة غير اعتيادية وتعرف هذه الحالة بـ hypertrophy ويزداد عددها بصورة غير اعتيادية ايضاً وتعرف هذه الحالة بـ hyperplasia .

بعد ان تتحرر بكتريا العقد الجذرية من خيط الاصابة تتكاثر بسرعة وتصبح منتفخة وغير منتظمة الشكل مكونة البكتريود «Bacteriods» . والبكتريود عبارة عن خلايا غير منتظمة الشكل ، ومن المحتمل ان يكون ذلك لافتقارها على الاغلب الى مكونات الجدار الخلوي الطبيعية ومحاطة فقط بغشاء سايتوبلازمي وتكون اشكالها في الغالب متفرعة او ملتوية او نجمية الشكل . تكون البكتريود اما متراصة بشكل انفرادي او مرزومة بشكل ثنائي او رباعي داخل طيات اغشية خلايا العائل . ان تثبيت النيتروجين يتم في هذه المرحلة في المناطق التي تكون فيها اغشية البكتريود وخلايا النبات قريبة من بعضها . البكتريود للسلالات الفعالة التي تستطيع تثبيت النيتروجين تختلف عن تلك السلالات غير الفعالة التي ليس لها القدرة على تثبيت النيتروجين . ففي الحالة الاولى (السلالات الفعالة) فإن المساحة

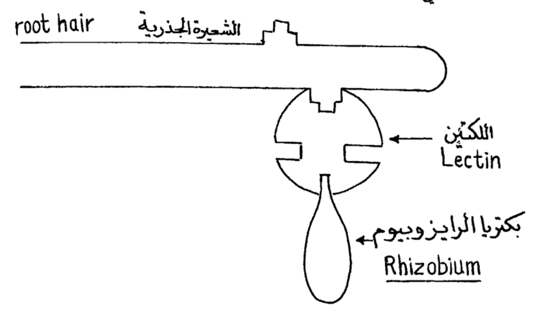


شكل (١٩) خيط الاصابة (Infection thread) المتكون بوساطة بكتريا *Rhizobium trifolii* داخل شعيرة جذرية لنبات البرسيم الابيض .

ا ووية تستطيل وتنقسم وتصبح محاطة بمنطقة نووية واضحة ، وخارج هذه المنطقة تكون منطقة السايتوبلازم بشكل جيبي وتحتوي على جزيئات تشترك في تفاعلات الاكسدة والاختزال . اما في السلالات غير الفعالة فلا توجد منطقة نووية واضحة بل توجد تجمعات كبيرة من الكلايكوجين **Glycogen** ووجود هذه التجمعات دلالة على زيادة في كمية الكاربوهيدرات ونقص في كمية النيتروجين .

ان البكتريود تموت عندما يكبر الجذر وتبقى فقط البكتريا الموجودة في خيط الاصابة حيث تقاوم وتتحرر بعد ذلك الى التربة لتعيد دورة الحياة . ان دورة حياة بكتريا العقد الجذرية تكون اغلبها في التربة فعندما تتحرر البكتريا من العقدة الى التربة يكون شكلها كروياً ثم يتحول بالتدريج الى الشكل العصوي ثم يكون لها سوط واحد طرفي وتعرف بالمحتشدات **Swarmers** ثم تحاط بعدة اسواط وتبدأ باصابة الجذور بعد ان تفقد اسواطها قبل الدخول الى الجذر .

هناك نظريات عديدة حول دور اللكتين Lectin في اصابة جذور البقليات ببكتريا الرايزوبيوم إذ ان اللكتين يفرزه النبات ويدخل حالياً ضمن تصنيف النبات حيث يكون حلقة الوصل لدخول البكتريا داخل الجذر كما موضح في المخطط الآتي : -



ان بعض العلماء يعزون الحالة التخصصية لاصابة بكتريا العقد للنباتات البقلية الى دور اللكتين Lectin ونوع متعدد السكريات polysaccharide الموجود في البكتريا المتخصصة في اصابة العائل النباتي .

ان العقد الجذرية بعد تكونها اما تكون فعالة وتسمى بالعقد الصادقة او النشطة ، وعادة تكون كبيرة الحجم وذات لون وردي نتيجة احتوائها على بروتين احمر يشبه الهيموكلوبين يطلق عليه تسمية الهيموكلوبين البقلي Leghaemoglobin ويكون سطح العقد الفعالة خشناً . اما العقد غير الفعالة فتكون صغيرة الحجم ذات لون باهت وملساء وتسمى ايضاً بالعقد الكاذبة حيث تكون غير نشطة في عملية التثبيت لعدم احتوائها على الهيموكلوبين البقلي .

العوامل التي تؤثر في عملية تثبيت النيتروجين بصورة تكافلية :

١ ـ توفر المركبات النيتروجينية اللاعضوية (المعدنية) في التربة ، كما هي الحال في التثبيت اللاتكافلي فإن توفر كميات كبيرة من املاح الامونيوم والنترات في التربة تؤدي الى تثبيط عملية التثبيت وذلك لان كلاً من البكتريا والنبات يستخدم هذه المركبات مصدراً نيتروجينياً بدل النيتروجين الجوي .

٢ ـ نوع السلالة البكتيرية المثبتة للنيتروجين ، إذ ان نوع السلالة له اهمية اساسية في عملية التثبيت وذلك لوجود سلالات فعالة واخرى غير فعالة في مجال التثبيت وكما اوضحنا سابقاً فإن بعض السلالات اضافة الى عدم كفاءتها قد تتطفل على النبات العائل .

٣ ـ نوع النبات العائل ، ان كمية النيتروجين المثبتة تختلف حسب نوع النبات العائل فهناك مجاميع نباتية بقلية اضافة الى نباتات غير بقلية تكون عقداً جذرية وتكون مركزاً لتثبيت النيتروجين . فمثلاً نبات الجت يثبت من (١٢٥ ـ ٣٣٥) كغم نيتروجين لكل هكتار سنوياً يليه بالمرتبة الثانية البرسيم ثم بقية النباتات ، إذ ان النباتات تختلف في كفاءة تثبيتها للنيتروجين .

٤ ـ العوامل التي تؤثر في العائل النباتي ، كما هو معروف فإن النبات العائل يجهز البكتريا المتخصصة في اصابته بمصادر الكاربون والطاقة والمواد الضرورية الاخرى للنمو . فإذا تأثر العائل بأي عامل طارىء فذلك يرجع الى ضعف عملية التثبيت اذا كانت تلك العوامل لها مردود سلبي على نمو النبات والعكس صحيح .

وهناك عوامل اخرى مثل درجة الاس الهيدروجيني (pH) ، اذ ان عملية التثبيت بصورة تكافلية تفضل الوسط المتعادل وان انخفاض pH التربة اقل من (O)، يجعل عدم تكون العقد الجذرية . وكذلك عملية تثبيت النيتروجين بصورة تكافلية تفضل درجة الحرارة المعتدلة وهي الملائمة ايضاً لتكون العقد الجذرية .

ان وجود الفاجات التي تصيب البكتريا المتخصصة في تكوين العقد على جذور البقليات وتشل حركتها ونشاطها تؤثر بالتالي في عملية تثبيت النيتروجين وتقلل الاصابة ببكتريا العقد .

وكذلك لاستعمال مبيدات الآفات اهمية كبرى في التأثير في بكتريا العقد وخصوصاً المبيدات الفطرية التي تستعمل بتراكيز عالية في الغالب حيث ان التجارب الحديثة اثبتت عدم تكون العقد الجذرية نهائياً عند معاملة الحقول

المزروعة بالبقليات بتلك المبيدات . وهناك عوامل عديدة أخرى خارجية تؤثر في تكون العقد الجذرية منها كيمياوية ، وفيزياوية وحيوية .

الفصل الثامن

« التحولات الحيوية للفوسفور »

Microbiological Transformations of phosphorus

دورة الفوسفور :

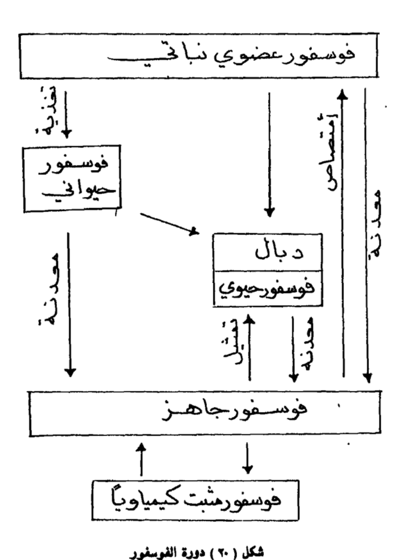
يضاف الفوسفور الى التربة بشكل سماد كيمياوي او بصورة اسمدة عضوية متكونة من بقايا النباتات او الحيوانات ويعدُ ثاني عنصر بعد النتروجين في تغذية النبات والاحياء المجهرية . واهميته تعود الى دوره الفعال في تكوين الطاقة اللازمة خلال العمليات الحيوية للخلية .

لاحياء مجهرية التربة دور كبير في تحولات الفوسفور وهذه التحولات تشمل :

١ ــ اذابة الفوسفور اللاعضوي .
٢ ــ معدنة الفوسفور العضوي .
٣ ــ تحويل الفوسفور اللاعضوي الى كتلة بروتوبلازمية (تمثيل) .
٤ ــ تفاعلات الاكسدة والاختزال . دورة الفوسفور كاملة موضحة بالشكل (٢٠) .

الفوسفور العضوي في النبات :

إن نسبة الفوسفور العضوي في المحاصيل الزراعية تختلف من محصول الى آخر وبصورة عامة تتراوح بين ٠,٠٥ ــ ٠,٥ ٪ . وهذه الكمية تكون في اشكال عضوية مختلفة منها ، الاحماض النووية ، فوسفوليبيدات ، سكريات فوسفاتية ، انزيمات مساعدة ، وحامض الفايتيك phytic acid (انوسيتول سداسي الفوسفات) .



شكل (٢٠) دورة الفوسفور

الفوسفور العضوي في الكائنات الدقيقة :

تحوي الخلايا البكتيرية على نسب مختلفة من المركبات العضوية الفوسفورية ويشكل الحامض النووي (RNA) من ثلث الى نصف الفوسفور العضوي . وحوالي ربع الفوسفور العضوي يكون على شكل ، أورثوفوسفات ، وسكريات فوسفاتية ، وأنزيمات مساعدة وتشكل الفوسفوليبيدات أقل من ١٠ % والحامض النووي (DNA) من ٢ ـ ١٠ % . وكذلك قد تحتوي بعض الأجناس على أنوسيتول (سداسي أو خماسي أو رباعي أو ثلاثي أو ثنائي أو أحادي الفوسفات) . تحوي بعض الفطريات على بولي فوسفات لاعضوية .

الفوسفور العضوي في دبال التربة :

حوالي ١٥ ـ ٨٥ % من الفوسفور الكلي في التربة يكون على شكل عضوي والنسب الباقية تكون على شكل فوسفات الكالسيوم غير الذائبة في الترب المتعادلة والقاعدية ويكون على شكل فوسفات الحديد أو الألمنيوم غير الذائب في الترب الحامضية جزءاً قليلاً جداً من الفوسفور الكلي يكون جاهزاً للنبات.ان نسبة عالية من فوسفور دبال التربة (من ١٠ ـ ٨٠ %) تكون بشكل فوسفات الأنوسيتول (بأشكالها الستة) . حوالي ١ ـ ١٠ % بشكل أحماض نووية . مع وجود كمية قليلة من الفوسفوليبيدات (٠,١ ـ ٥ %) التي تكون معظمها على شكل فوسفاتيديل كولين وفوسفاتيديل أيثانول أمين . وتكون جميعها مرتبطة بعضها ببعض ومع المركبات العضوية الأخرى، لتكون الشكل الطبيعي لدبال التربة . أحياناً يكون هذا الأرتباط وثيقاً جداً بحيث يكون من الصعب فصل الفوسفات العضوية بطرق الفصل المعروفة .

دور الأحياء المجهرية في تحولات الفوسفور

١ ـ اذابة الصخور والمعادن الفوسفاتية :

لقد تم تشخيص عدد كبير من أجناس بكتريا التربة وفطرياتها التي لها القابلية على أذابة الصخور الفوسفاتية غير الذائبة كالفلور أبا تايت أو الكلور أبا تايت أو الهيدروكسي أبا تايت وتركيبها الكيمياوي $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2(Cl_2, F_2)$ وتحرير الفوسفور منها بشكل جاهز للنبات . كذلك تحول مركبات فوسفات الكالسيوم أو المغنيسيوم أو الحديد أو الالمنيوم غير الذائبة الى الصورة الذائبة .

أعداد البكتريا التي تقوم بهذه العملية تختلف من تربة الى أخرى وقد تتراوح بين 10^2 ـ 10^7 لكل غرام تربة جافة . الأجناس البكتيرية التي تقوم بهذه العملية تتمثل في *Mycobacterium* ، *Pseudomonas* ، *Bacillus* ، *Flavobacterium* ، *Micrococcus* وأجناس أخرى .

قسم من الأجناس الفطرية يمكنهاأن تقوم بهذه العملية أيضاً منها .
Sclerotium , Fusarium , Penicillium , Aspergillus

لقد وجد أن هذه الأجناس يمكنها أن تنمو في التربة أو في وسط غذائي يحوي على أحد الصخور أو المعادن الفوسفاتية السابقة الذكر كمصدر رئيسي للفوسفات . حيث تستعمل قسماً منه لبناء خلاياها والقسم الاخر تطرحه للبيئة الغذائية أو للتربة بشكل فوسفور جاهز للنبات . من الممكن الكشف عن ذلك بتكوين مناطق رائقة حول المستعمرات النامية في الوسط الغذائي الصلب نتيجة للاذابة .

من الممكن أن تفسر عملية أذابة الصخور والمعادن الفوسفاتية كما يأتي :

١ ـ تحت الظروف الهوائية تتأكسد الأمونيا أو الكبريت الى حامض النتريك أو الكبريتيك بوساطة أحياء مجهرية التربة .
الحوامض المتكونة اضافة الى حامض الكربونيك بأمكانها اذابة فوسفات الكالسيوم الثلاثية مثلاً الى ثنائية ثم الى فوسفات أحادية الكالسيوم وبالتالي تحرير الفوسفات بشكل جاهز .

٢ ـ تحت الظروف اللاهوائية تتكون :

أ ـ أحماض عضوية مثل الفورمك ، والأسيتيك ، واللاكتيك ، والبروبيونيك ، وكلايكولك ، وفيمارك ، وسكسنيك ... الخ وهذه بدورها يمكنها أن تذيب المعادن الفوسفاتية .
ب ـ أختزال الحديديك الموجود في تركيب فوسفات الحديديك الى حديدوز مع تحرر الفوسفات
جـ ـ أختزال الكبريتات الى كبريتيد الهيدروجين الذي يمكنه أن يتفاعل مع فوسفات الحديديك لتكوين كبريتيد الحديدوز مع تحرير الفوسفات .

النقاط الثلاثة الأخيرة تفسر النمو الجيد لمحصول الرز في الأراضي الغدقة من دون اسمدة فوسفاتية موازنة بنموه بالطريقة الجافة .

٢ ـ معدنة الفوسفور العضوي :

أ ـ معدنة الفايتين :

تؤلف فوسفات الأنوسيتول حوالي ٥٠ ٪ من الفوسفات العضوية في التربة . وتعد فوسفات الأنوسيتول السداسية (حامض الفيتيك **phytic acid**) من المكونات المهمة في دبال التربة .

يتحلل الفايتين (ملح الكالسيوم او المغنيسيوم لحامض الفيتيك) ببطء بوساطة احياء مجهرية التربة بالرغم من وجود اعداد كبيرة من البكتريا والفطريات التي لها القابلية على تكوين انزيم الفايتيز وافرازه وهو الذي يقوم بعملية التحلل . مقاومة الفايتين للتحلل ربما تفسر بثلاث تفسيرات هي ١ـ ثباتية الأرتباط بين الأيستر والفوسفات ٢ ـ قابليته على تكوين معقدات مع الحديد او الألمنيوم أو الكالسيوم أو المغنيسيوم . ٣ ـ ادمصاصة أو أدمصاص الأنزيم الذي يحلله

على سطوح حبيبات الطين أو المادة العضوية . الاحياء المجهرية التي تقوم بتحليل الفايتين تتمثل في الاجناس الآتية :

Aspergillus , Penicillium , Rhizopus , Bacillus , Arthrobacter

عملية التحلل تتم على وفق المعادلة الآتية :

$$\text{phytic acid} + 6H_2O \xrightarrow{\text{phytase}} 6H_3PO_4 + \text{Inositol}$$

phytic acid   Inositol

إنَ أنزيم الفايتيز يحلل حامض الفايتيك في عدة خطوات في كل منها يحرر فوسفات واحدة . قسم من الأحياء المجهرية تفرز الانزيم خارج الخلية والقسم الآخر تفرزه داخل الخلية اي بعد أمتصاص المركب . قسم من الانزيمات التي تم عزلها من التربة تكون متخصصة لهذا المركب فقط وقسم غير متخصصة اذ يمكن ان تعمل على مركبات عضوية فوسفاتية اخرى .

ب ـ معدنة الحوامض النووية :

تتكون الوحدة المركبة للحامض النووي من قاعدة نيتروجينية (بيورين أو بيريميدين) مع سكر خماسي (يكون مختزلاً في حالة الـDNA) مع الفوسفور. ترتبط الوحدات مع بعضها لتكون الشكل النهائي للRNAوالـ DNA

تتحلل الاحماض النووية في التربة بوساطة الاحياء المجهرية عضوية التغذية اذ تستعمل هذه المركبات مصدراً للكاربون والنيتروجين والفوسفور كما تستعمل مصدراً للطاقة. الخطوة الاولى في عملية التحلل هي تكسير الجزيئات الكبيرة الى جزيئات أصغر فأصغر ثم الى الوحدة الواحدة المكونة للحامض النووي وذلك بوساطة إفراز أنزيمات خارجية تسمى رايبونيكلييز (بالنسبة للRNA) وديؤكسي رايبونيكلييز (بالنسبة للDNA). وبعدها تؤخذ داخل الخلية لتكملة التحلل حيث يتحرر الفوسفات اولاً بشكل H_3PO_4 ثم يتحلل السكر الخماسي الى Co_2 وماء واخيراً تتحلل القاعدة النيتروجينية الى يوريا. وتتحلل اليوريا بوساطة أنزيم اليوريز الى CO_2 وNH_3خطوات التحلل موضحة بالشكل الآتي : ــ

حـ ـ معدنة الفوسفوليبيدات :

نسبة قليلة من الفوسفور العضوي توجد بشكل فوسفوليبيدات (فوسفاتيدات) منها ، الكليسروفوسفاتايد (فوسفاتيديل كولين ، فوسفاتيديل ايثانول أمين ، وليسيثين) . الليسيثين يتكون من كليسرول مرتبطة بجزيئتين من حامض دهني بوساطة رابطة استرية . وحامض الفوسفوريك مرتبط مع الكولين ايضاً بنفس النوع من الرابطة كما في التركيب الآتي : ـ

$$\begin{array}{l} CH_2OCOR \\ | \\ CHOCOR_1 \\ | \\ CH_2O-\overset{O}{\overset{\|}{P}}(O^-)-O-CH_2-CH_2-\overset{+}{N}-(CH_3)_3 \end{array}$$

من الممكن ان يستعمل الليسيثين بوساطة البكتريا والفطريات مصدراً للفوسفور والنيتروجين والكاربون والطاقة . حيث تستعمل هذه الكائنات الحية جزءاً من الفوسفور في بناء بروتوبلازم الخلية والزائد يطرح للتربة ليكون جاهزاً للنبات . ومن الممكن ايضا ان يرتبط الليسيثين ببروتين التربة ليكون معقدات البروتينات اللبيدية Lipoprotein المقاومة للتحلل .

عند التكلم عن تحلل المركبات الفوسفورية في التربة لابد من الاشارة الى انزيمات الفوسفاتيز التي تحرر حامض الفوسفوريك من معظم هذه المركبات بوجود الماء كما في التفاعل الآتي : ـ

$$RO\overset{O}{\overset{\|}{P}}(OH)-OH + H_2O \xrightarrow{phosphatase} ROH + H_3PO_4$$

هناك نوعان من هذه الانزيمات منها ما يسمى بالفوسفاتيز الحامضية التي يكون عملها في الترب الحامضية فقط ومنها ما يسمى بالفوسفاتيز القاعدية التي تعمل في الترب القاعدية .

هناك علاقة موجبة عالية بين كمية الفوسفور المتمعدن وكل من النيتروجين والكاربون المتمعدن . وبصورة عامة كمية النيتروجين المتمعدنة تكون من ٨ ــ ١٥ مرة بقدر كمية الفوسفور المتمعدنة وكمية الكاربون المتمعدنة تكون من ١٠٠ ــ ٣٠٠ مرة . وكمعدل فأن نسبة الكاربون الى النيتروجين الى الفوسفور المتمعدنة تكون بحدود ١٠٠ : ١٠ : ١ وهي نفسه النسبة تقريبا موجودة في دبال التربة .

٣ ــ دورة المعدنة ــ تمثيل .

ذكر سابقا أن الأحياء المجهرية واحتياجاتها من العناصر الغذائية هي العامل الرئيس المتحكم بدورة المعدنة ــ تمثيل . هناك دراسات كثيرة قد اجريت لمعرفة نسبة الكاربون الى الفوسفور في اجسام الأحياء المجهرية (C: Pratio) .

كمعدل فان هذه النسبة في مايسيليوم الفطريات تتراوح بين ٥٠ ــ ١٠٠ : ١ وفي اجسام الخلايا البكتيرية والأكتينومايسيتات تتراوح بين ١٥٠ ــ ٣٠٠ : ١ . باتباع حسابات بسيطة يمكن تحديد الحدود التقريبية لما تحتويه المخلفات العضوية من فوسفور كحد فاصل بين المعدنة ــ تمثيل .

مثال :

أضيف مسحوق تبن الحنطة بنسبة ١ ٪ الى دونم من التربة وترك ليتحلل في ظروف ملائمة مدة شهرين . ما هو تأثير ذلك في فوسفور التربة اذا علمت أن نسبة الكاربون في مسحوق التبن ٤٠ ٪ ونسبة الفوسفور فيه ٠,١ ٪ وان ٦٠ ٪ من مسحوق التبن قد تحلل خلال هذه المدة . أفرض ان التحلل كله بوساطة الفطريات التي تمثل ٣٥ ٪ وان نسبة الكاربون الى الفوسفور فيها ١٠٠ : ١

الحل :

$\frac{1}{100} \times 500,000 = 5000$ كغم / دونم تبن مضاف .

$\frac{40}{100} \times 5000 = 2000$ كغم / دونم كاربون مضاف .

$\frac{0.1}{100} \times 5000 = 5$ كغم / دونم فوسفور مضاف .

$\frac{60}{100} \times 2000 = 1200$ كغم / دونم كاربون عضوي متحلل

$\frac{60}{100} \times 5 = 3$ كغم / دونم فوسفور عضوي متحلل

$\frac{35}{100} \times 1200 = 420$ كغم / دونم كاربون ممثل من الفطريات

$\frac{420}{100} = 4.2$ كغم / دونم فوسفور ممثل للفطريات .

الأستنتاج :

بما ان الفطريات بحاجة الى ٤,٢ كغم فوسفور والمأخوذ داخل اجسامها فقط ٣ كغم . فالنقص ١,٢ كغم فوسفور يؤخذ من الفوسفور الجاهز في التربة فالعملية **Immobilization** لفوسفور التربة في الدورة الاولى من التحلل .

في المثال السابق قد حددنا نسبة الكاربون الى الفوسفور في اجسام الفطريات بـ ١٠٠ : ١ أي نسبة الفوسفور ٠,٥ ٪ (على فرضانه نسبة الكاربون فيها ٥٠ ٪) . ولكن بالحقيقة ان نسبة الفوسفور تختلف من جنس الى آخر . فقد وجد انه في بيئة غذائية تحوي الكلوكوز كمصدر طاقة وكاربون ان الجنس ***Aspergillus*** يمثل بحدود ٠,٢٤ ـ ٠,٤٠ جزء فوسفور لكل ١٠٠ جزء كلوكوز . الجنس ***Streptomyces*** يمثل بحدود ٠,٢٧ ـ ٠,٦٣ . بالنسبة لخليط احياء مجهرية التربة (بكتريا وأكتينومايسيتات وفطريات) وجد انها تمثل ٠,١٦ ـ ٠,٣٦ جزء P لكل ١٠٠ جزء كلوكوز متأكسد . اذا

استعمل السيللوز بدلاً من الكلوكوز فأن خليط أحياء مجهرية التربة تمثل بحدود ٠,٣٥ ـ ٠,٤٥ جزء P لكل ١٠٠ جزء سيللوز. كمعدل فقد عد الرقم ٠,٣ جزء P في الظروف الهوائية (على شرط ان جميع المادة الغذائية سوف تتأكسد) وطبعاً اقل من ذلك بكثير في الظروف اللاهوائية .

بما انه ليس كل كاربون وفوسفور المخلف العضوي المضاف الى التربة هو جاهز للتحلل (نسبة منه يتحلل ونسبة منه تبقى في التربة من دون تحلل) فقد عد الرقم ٠,٢ ٪ p حداً فاصلاً بين الـ **mineralization** والـ **immobilization** .

يعبر احياناً عن الحد الفاصل بين العمليتين بنسبة الكاربون الى الفوسفور في المخلفات العضوية المضافة وقد أقترح انه اذا كانت هذه النسبة أقل من ٢٠٠ ، فمعناها **mineralization** في المراحل الأولى من التحلل. اكثر من ٣٠٠ ، ١ معناها **immobilization** لفوسفور التربة .

للأعتبارات السابقة الذكر يمكننا القول انه اضافة اسمدة عضوية حاوية على نسبة قليلة من الفوسفور كما في حالة تبن الحنطة في المثال السابق وزراعة محصول معين مباشرة يؤدي حتماً الى ظهور اعراض نقص الفوسفور على النباتات النامية لأن الاحياء المجهريةسوف تأخذ الفوسفور من المادة العضوية وبما انه قليل فسوف تأخذ معه جزءاً من الفوسفور الجاهز في التربة .

٤ ـ تفاعلات الأكسدة والاختزال :

من الممكن ان يوجد الفوسفور المعدني في التربة بأشكال متأكسدة تتراوح بين ـ ٣ كما في أيون الفوسفين **phosphine** الذي يرمز له بـ PH_3 الى + O كما في ايون الأورثوفوسفيت **orthophosphate** الذي يرمز له بـ H_3PO_4

هناك دلائل قاطعة تشير الى الأكسدة الحيوية للأورثوفوسفايت **orthophosphite** المضاف ، الى التربة الى مركب الـ أورثوفوسفيت orthophosphate كما في المعادلة الآتية : ـ

$$HPO_3^{=} \xrightarrow{\text{أكسدة}} HPO_4^{=}$$

تتم هذه العملية بوساطة عدد من الاجناس منها ، *Pseudomonas* *Penicillium , Aspergillus , Aerobacter , Erwinia* ولكن لا يوجد اي دليل يشير الى أن عملية الأكسدة هذه يمكنها ان توفر طاقة لهذه الكائنات الحية .

كذلك ممكن ان يتأكسد الهايبوفوسفايت $HPO_2^{=}$ بوساطة الأحياء المجهرية العضوية التغذية الى أورثوفوسفيت $HPO_4^{=}$ هناك ايضاً دلائل تشير الى حدوث عكس العمليات السابقة (اختزال) اذ وجد في الظروف اللاهوائية وبوجود مصدر طاقة كالمانيتول مثلاً يمكن ان يختزل المركب أورثوفوسفيت الى فوسفايت ثم الى هايبوفوسفايت كما في المعادلة الآتية : ــ

$$H_3PO_4 \xrightarrow{2H} H_3PO_3 \xrightarrow{2H} H_3PO_2$$

حالة الأكسدة ← ٥ +   ٣ +   ١ +

لقد لوحظ ان وجود النترات او الكبريتات في محلول التربة يؤدي الى توقف اختزال الفوسفات وذلك لتفضيل البكتريا اللاهوائية استعمال الـ NO_3 أو الـ $SO^{=}$ كمستقبل للألكترونات على الفوسفات .

ان عملية الاختزال السابقة قد درست بصورة واضحة باستعمال مزارع نقية من البكتريا *E. coli* اللاهوائية الاختيارية واللاهوائية الأجبارية *Clostridium butyricum* وهي مشابهة لعملية الـ denitrification ومشابهة ايضاً لعملية اختزال الكبريتات الى H_2S . ولكن لاتوجد دلائل قاطعة تشير الى الاختزال الكامل للأورثوفوسفيت الى فوسفين (PH_3)

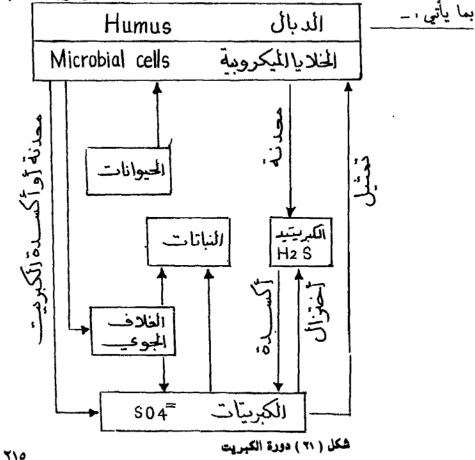
الفصل التاسع

« التحولات الحيوية للمركبات الكبريتية »

Biological Transformations of sulfur compounds

Sulfur cycle : دورة الكبريت

الكبريت مثل النيتروجين والكاربون يمر خلال دورة من التحولات تحدث بوساطة الاحياء المجهرية التي من خلالها تختزل وتؤكسد فيها مختلف المركبات الكبريتية . ان الانتقال او التحول البايولوجي للكبريت يكون مشابهاً في بعض جوانبه للانتقال البايولوجي للنيتروجين . وعند القائنا نظرة على دورة الكبريت شكل (٢١) نلاحظ ذلك التشابه ومن الممكن ـ مثلاً ـ ان نلخص اوجه التشابه بما يأتي : ـ



شكل (٢١) دورة الكبريت

- ان مكانة H_2S تشبه مكانة NH_3 في دورة النيتروجين .
- وان اكسدة H_2S تشبه عملية النترجة في دورة النيتروجين .
- كما ان اختزال الكبريتات $SO_4^=$ يشبه اختزال النترات في دورة النيتروجين .
- واخيرا فان اكثر النباتات تمتص النيتروجين على صورة NO_3^- وكذلك اكثر النباتات تمتص الكبريت على شكل $SO_4^=$.

إضافة الى اوجه التشابه اعلاه فهناك بعض من اوجه الاختلاف بين دورة الكبريت ودورة النيتروجين : -

- ان عملية النترجة في دورة النيتروجين تؤدي الى تكون النتريت NO_2 قبل تكون النترات ، في حين نجد في دورة الكبريت ان H_2S يتأكسد مباشرة الى الكبريت دون المرور بمركب وسطي .
- كما ان هناك اختلافاً في نوع الاحياء المجهرية التي تؤكسد كل من الامونيا والكبريتيد H_2S . اذ ان الاحياء المجهرية التي تقوم بأكسدة الامونيوم هي من نوع الاحياء ذاتية التغذية . اما الاحياء التي تقوم بأكسدة الكبريت اللاعضوي فقد تكون ذاتية التغذية او غير ذاتية التغذية .

هناك بعض التغييرات الكيميائية الحيوية التي يحتمل ان تحصل للمركبات الكبريتية بوساطة الكائنات الدقيقة وتكون كالآتي : -

أ - ان الكبريت بشكله العنصري (S) لا يمكن ان تمثله النباتات او الحيوانات ، فهناك بكتريا خاصة لها القدرة على اكسدة الكبريت الى السلفات او الكبريتات ($SO_4^=$) فالنوع البكتيري الخاص بهذا التفاعل هو : - ***Thiobacillus thiooxidans*** والتفاعل الذي تحدثه هو كالآتي : -

$$2S + 2H_2O + 3O_2 \longrightarrow 2H_2SO_4$$

ب - ان الكبريتات ($SO_4^=$) تمثل من النباتات وتدخل في تركيب البروتينات . كما ان تحلل البروتينات **(proteolysis)** يحرر الاحماض الامينية بوساطة النشاط الانزيمي للعديد من البكتريا غير ذاتية التغذية **Heterotrophic bacteria** وتحلل بعض الاحماض الامينية السلفاتية كالسستين **Cysteine** ينتج عنه تكون كبريتيد الهيدروجين وكما يأتي : -

$$\underset{\text{cysteine}}{\begin{matrix} CH_2SH \\ | \\ CHNH_2 \\ | \\ COOH \end{matrix}} + H_2O \xrightarrow[\text{desulfurase}]{\text{cysteine}} \underset{\text{pyruvic acid}}{\begin{matrix} CH_3 \\ | \\ C=O \\ | \\ COOH \end{matrix}} + \underset{\text{hydrogen sulfide}}{H_2S} + NH_3$$

جـ ـ أما الكبريتات فربما تختزل ثانية الى كبريتيد الهيدروجين H_2S بوساطة الكائنات الحية كما في التفاعل الآتي الذي يحدث بفعل الجنس البكتيري ، Desulfovibrio

$$4H_2 + CaSO_4 \longrightarrow H_2S + Ca(OH)_2 + 2H_2O$$

د ـ كما ان كبريتيد الهيدروجين الناتج من اختزال الكبريتات وتحلل الاحماض الامينية يتأكسد الى الكبريت العنصري (S) اذ يوصف هذا التفاعل بأنه تمثيل ضوئي لبكتريا الكبريت كما موضح في المعادلة الآتية : ـ

$$CO_2 + 2H_2S \xrightarrow{\text{ضوء}} \underset{\text{كاربوهيدرات}}{(CH_2O)_x} + H_2O + 2S$$

وكما هو معروف فان الكبريت يعد عنصراً اساسياً ومهماً في عملية نمو النبات ، إذ ان النباتات تحتاج الى عنصر الكبريت لتركيب بعض الحوامض الامينية وبعض الفيتامينات والانزيمات المرافقة Coenzymes وغيرها من المكونات . ويشترك الكبريت والنيتروجين في تركيب البروتينات ، ويوجد الكبريت في التربة بالحالة العضوية واللاعضوية (المعدنية) وفي حالات تأكسدية واختزالية وفي اشكال صلبة وسائلة وغازية ، كما ان وجود الكبريت في التربة من ناحية الكمية يعتمد على عدة عوامل منها المناخ ونوع التربة وعمقها وغيرها .

إن اهم مصادر الكبريت في التربة يرجع الى بقايا النباتات والحيوانات ، والاسمدة الكيمياوية ، والامطار وبعض المواد الاصلية Parent material مثل

كبريتات الكالسيوم $CaSO_4 . 2H_2O$ (Gypsum) والبيرايت FeS_2 (Pyrite) . بالنسبة للامطار كمصدر من مصادر الكبريت ففي بعض المدن الكبيرة مثل طوكيو ولندن فان مقدار الكبريت الراجع للتربة بواسطة الامطار يكون حوالي (١٠٠) باون لكل ايكر .

وبصورة عامة هناك اربع عمليات مميزة لتحولات الكبريت وهي : ـ

١ ـ تحلل المركبات العضوية المحتوية على الكبريت (معدنة الكبريت) .

٢ ـ التمثيل المايكروبي لمركبات الكبريت .

٣ ـ اكسدة الايونات اللاعضوية مثل الكبريتيدات والثايوكبريتات والثايونات والكبريت المعدني .

٤ ـ اختزال الكبريتات والانيونات الاخرى الى كبريتيد .

١) معدنة الكبريت : ـ

على الرغم من ان النباتات تتمكن من تمثيل العديد من الاحماض الامينية قبل تحليلها ، يمكنها أن تأخذ ثاني اوكسيد الكبريت SO_2 الموجود في الهواء الجوي أيضاً عن طريق الاوراق الا ان الجزء الاساسي بالنسبة لتغذية النباتات يكون في صورة ايونات الكبريتات $SO_4^{=}$ الذي يمتص عن طريق الجذور . ان ايونات الكبريتات تختزل داخل انسجة النبات الى مجموعة السلفاهيدرل [- SH] . ونظراً لاهمية وجود هذا العنصر بالصورة اللاعضوية (المعدنية) في التربة لغرض تغذية النباتات وامداده بهذا العنصر فان معدنة الكبريت العضوي تعد من التحولات الميكروبية المهمة في التربة .

هناك العديد من المركبات العضوية التي تحتوي على الكبريت تتحول الى الصور اللاعضوية بفعل أحياء التربة المجهرية ، حيث يوجد عنصر الكبريت في بروتينات النبات والحيوان والميكروبات على صورة احماض امينية ، كما يوجد في انسجة الحيوان وافرازاته ايضا على هيئة كبريت حر وتيورين Taurine وصور اخرى .

بعد تحول الكبريت العضوي الموجود في بقايا النباتات والحيوانات بعد اضافتها الى التربة الى الحالة اللاعضوية فان جزءاً من الكبريت المعدني تستخدمه

الميكروبات لغرض التخليق الحيوي والجزء الآخر ينطلق الى التربة . ان الكبريتات تكون الناتج النهائي وفي الظروف الهوائية . اما في الظروف اللاهوائية فاحتمال تراكم كبريتيد الهيدروجين(H_2S)ومركبات الحديد حيث ان لها رائحة مميزة .

هناك عوامل عديدة تؤثر في معدنة الكبريت اذ تكون المعدنة سريعة عند وجود الاوكسجين وتنخفض في حالة غيابه . كما ان ارتفاع درجات الحرارة الى حد المدى الحراري المتوسط يشجع المعدنة وكذلك اضافة كاربونات الكالسيوم$CaCO_3$ (Lime) الى الترب الحامضية يسرع ايضاً من عملية معدنة الكبريت . ان للرطوبة ايضا تأثيراً في سرعة عملية المعدنة وان أنسب مستوى للرطوبة يكون بين ٢٠ ـ ٤٥ ٪ .

إن معدل تكون الكبريت اللاعضوي يتأثر بمحتوى المادة المضافة الى التربة من الكبريت وبنسبة الكاربون الى الكبريت C/ S ratio كما هي الحال في تحول النيتروجين العضوي . كما ان الكبريتات تتراكم فقط في التربة في حالة وجود الكبريت في المادة العضوية بكميات تفوق حاجة الميكروبات لهذا العنصر ، كما ان معدلات معدنة الكبريت تتأثر بنفس العوامل البيئية التي تؤثر في نمو الميكروبات بصورة عامة .

٢) التمثيل المايكروبي للكبريت :ـ

هناك العديد من المواد اللاعضوية التي تكون مصدراً من مصادر الكبريت اللازمة لنمو الميكروبات ومن الامثلة على تلك المواد ، الكبريتات ($SO_4^{=}$) ، والثايوكبريتات (SSO_3^-) ، والكبريتيد والكبريت المعدني ، والكبريتيت($SO_3^{=}$) والثايونات الرباعية ($O_3SSSSO_3^-$) وغيرها . أما المركبات العضوية فتشمل الـ : Cystine ، Cysteine ، Me thionine والتوريـــن Taurine والبروتينات غيـر المتحللة .

إن الكبريتات تستخدم باضافتها الى المنابت الغذائية وكما بينا سابقاً أن الكبريتات لا تتكون في الظروف اللاهوائية ، لذا قد تقوم الكائنات اللاهوائية في التربة بتمثيل المركبات المختزلة من الكبريت . إن الكثير من الاحياء غير ذاتية التغذية قد لا تكون لها القدرة على استخدام الكبريتات واحياناً لا تقوم باستخدام صور الكبريت اللاعضوية لهذا السبب يتم تنميتها في منابت غذائية مضافاً اليها احماضاً أمينية محتوية على الكبريت مثل السستين Cystine والمثيونين Methionine . وكما هو معروف فان معظم الكائنات الدقيقة تحتوي على نسبة

(٠,١ ـ ١ ٪) من الكبريت بالنسبة الى وزنها الجاف وان معظم هذا الكبريت يكون ضمن مكونات الحوامض الامينية المذكورة اعلاه .

إن عملية تمثيل الكبريت من أحياء التربة المجهرية لا تعد من العمليات الشائعة الا في حالة نقص عنصر الكبريت . وعلى سبيل المثال فان اضافة الكاربوهيدرات كالسليلوز الى التربة يحتمل ان يؤدي الى نقص بمستوى الكبريتات نتيجة تمثيل احياء التربة للكبريت اللاعضوي (المعدني) خلال نموها على حساب الكاربوهيدرات ، لذا ستعاني النباتات النامية في الترب المعاملة من نقص الكبريت نتيجة لعملية التمثيل . ان حل هذه المشكلة يكون باضافة الكبريتات الى التربة .

اشرنا فيما سبق الى انه اذا كانت كمية الكبريت في المادة المضافة اقل من احتياجات النمو للاحياء فان عملية التمثيل تتغلب على عملية المعدنة ، اما اذا زاد محتوى المادة المضافة من هذا العنصر فسوف يؤدي الى سيادة عملية المعدنة على عملية التمثيل . اذا تتراوح النسبة الحرجة من C/ S في المركبات العضوية التي تؤدي زيادتها الى سيادة عملية التمثيل على المعدنة بين ١/ ٢٠٠ إلى ١/ ٤٠٠ وهذا يعني ان المركبات المضافة تحتوي على نسبة قليلة من الكبريت وهذه النسبة تكون مشابهة لنسبة الكاربون الى النيتروجين .

٢) اكسدة مركبات الكبريت :ـ

ان الكبريتات والكبريت المعدني والثايوكبريتات يمكن ان تتأكسد في التربة بالوسائل الكيمياوية ببطء ولكن عند توفر الظروف الملائمة فانها تتأكسد بوساطة الكائنات الدقيقة بسرعة كبيرة . فعندما تصبح الظروف في التربة مقاومة للظروف المثلى من حيث الرطوبة والحرارة فان التغيرات بفعل العوامل الكيمياوية تكون ضئيلة جداً اذا ما قورنت بالمعدلات العالية للتحولات الميكروبية .

إن ميكروبات التربة التي لها القدرة على اكسدة الكبريت غير العضوي قد تكون ذاتية او غير ذاتية التغذية . فالبكتريا التي تستخدم مثل هذه الجزيئات في انتاج الطاقة معظمها يتبع الجنس ، ***Thiobacillus*** ، اذ يتضمن هذا الجنس ثمانية انواع الا ان اغلب الدراسات تركزت على خمسة انواع منها وهي كالآتي :ـ

١ ـ *T. thiooxidans* : وهو ميكروب ذاتي التغذية يقوم باكسدة الكبريت المعدني ويكون نموه المفضل في درجة حموضة (٣) أو اقل . والتحول التي تقوم به هذه البكتريا موضح كما في المعادلة الآتية :

$$S + 1\frac{1}{2}O_2 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$$

٢ ـ *T. thioparus* : وهو مايكروب ذاتي التغذية ايضاً لكنه حساس لدرجة الحموضة . التحول الذي يقوم به هذا النوع موضح في المعادلات الآتية : ـ

$$5\,Na_2S_2O_3 + 4O_2 + H_2O \longrightarrow 5\,Na_2SO_4 + H_2SO_4 + 4S$$

$$Na_2S_4O_6 + Na_2CO_3 + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow 2\,Na_2SO_4 + 2\,S + Co_2$$

٣ ـ *T. novellus* : يكون هذا النوع قادراً على استخدام الكبريت العنصري لكنه يقوم ايضا باكسدة المركبات العضوية اضافة الى املاح الكبريت اللاعضوي . والتحول الذي يقوم به هذا النوع يمثل بالمعادلة الآتية

$$Na_2S_2O_3 + 2O_2 + H_2O \rightarrow 2\,NaHSO_4$$

٤ ـ *T. denitrificans* : وهو النوع الذي له القدرة على النمو بدون الاوكسجين ، اذ يقوم باستخدام النترات كمستقبل للالكترونات في الظروف اللاهوائية . والمعادلة الآتية توضح التحول التي تقوم به هذه البكتريا : ـ

$$5\,S + 6\,KNO_3 + 2\,H_2O \rightarrow K_2SO_4 + 4\,KHSO_4 + N_2$$

٥ ـ *T. ferrooxidans* : يتميز هذا النوع بقدرته على استخدام املاح الحديدوز او املاح الكبريت مصدراً للطاقة .

ان الحصول على الطاقة بالنسبة لهذا النوع تتم عن طريق عمليات هوائية يتأكسد فيها الحديدوز(Fe^{++}) الى حديديك (Fe^{+++})مثال تحول كبريتات الحديدوز الى الحديديك الذي يتحول ايضا الى هيدروكسيد الحديديك الذي يغلف خلايا هذا الميكروب كما موضح في المعادلات الآتية : ـ

$$4FeSO_4 + O_2 + 2H_2SO_4 \longrightarrow 2Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 6H_2O \longrightarrow 2Fe(OH)_3 + 3H_2SO_4$$

كما ان اكسدة البيريت (FeS_2) Pyrite يحتمل ان يتم بطريقة كيمياوية او بواسطة بكتريا ، T. ferrooxidans .

$$2FeS_2 + 7O_2 + 2H_2O \longrightarrow 2FeSO_4 + 2H_2SO_4$$

للتفرقة بين الانواع الخمسة التابعة لجنس Thiobacillus يمكن استخدام رقم الـ pH الامثل للنمو في هذا الغرض . فدرجة الحموضة المثلى لكل من النوع الاول والخامس عادة ما تكون حوالي (ـ, ٢ ـ ٣,٥) في حين تفضل الانواع الثلاثة الاخرى الوسط القريب من التعادل أو حتى الوسط المائل قليلاً الى القلوية . وكذلك فان جميع الانواع السابقة هي هوائية ما عدا النوع ، T. denitrificans الذي يستطيع استخدام النيترات كمستقبل نهائي للالكترونات وعند نمو هذا الميكروب في الظروف اللاهوائية يقوم بتحويل النترات الى مركبات نيتروجينية غازية ويؤكسد في الوقت نفسه الثايوكبريتات او بعض المركبات الكبريتية الاخرى .

اضافة الى الانوع السابقة فانه يمكن ايضاً عزل سلالات تفضل الحرارة العالية او التراكيز العالية من الاملاح ، كما ان النوع ، .T.perometabolis وهو غير ذاتي التغذية يزداد نموه عندما يقوم باكسدة الثايوكبريتات الى كبريتات .

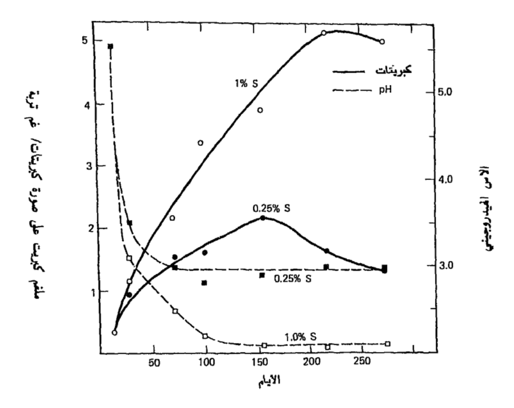
إن التعرف على وفرة وجود البكتريا الذاتية التغذية الكيمياوية المؤكسدة للكبريت يتم عن طريق تلقيح تخفيفات التربة في منابت غذائية معدنية تحتوي على مركبات الكبريت غير العضوية ثم تتبع التغير في درجة الحموضة . وقد امكن التوصل باستخدام مثل هذه الطريقة الى أن الاراضي المعدنية تحتوي على اعداد من هذه البكتريا اقل من (١٠٠) أو (٢٠٠) خلية في الغرام الواحد ، ولكن في بعض الاحيان قد تحتوي التربة على اعداد اكثر من ذلك بكثير وقد تصل الى (١٠,٠٠٠) خلية في الغرام الواحد . أما في الاراضي العضوية ذات الاصل النباتي فان اعدادها عادة تقل عن (٥٠٠) خلية في الغرام الواحد وغالباً لا تتجاوز (٥٠) خلية في الغرام الواحد . لذلك تكون كثافة اعداد هذه الميكروبات قليلة الا اذا اضيفت مركبات الكبريت الى التربة .

هناك ايضا بعض الانواع البكتيرية غير ذاتية التغذية والاكتينومايسيتات والفطريات تقوم باكسدة مركبات الكبريت اللاعضوية وان هذه الميكروبات لا تحصل على الطاقة من هذه الاكسدة لان هذه التحولات تحدث بصفة عرضية في

المسارات الرئيسة لعمليات التمثيل الغذائي . فتقوم مثلا بعض الانواع التابعة للاجناس ، ***Pseudomonas*** ، ***Flavobacterium*** ، ***Bacillus*** ، Arthrobacter بتحويل الكبريت المعدني او الثايوكبريتات الى كبريتات . في حين تقوم انواع من جنس ، ***Streptomyces*** بانتاج الثايوكبريتات من الكبريت المعدني ، كما تقوم الفطريات الخيطية والخمائر باكسدة حبيبات الكبريت الناعمة . كذلك تقوم العديد من البكتريا من التي تغذيتها غير ذاتية بوجود العناصر الغذائية العضوية بتحويل الثايوكبريتات الى ثايونات رباعية . وكقاعدة عامة فان مثل هذه التفاعلات تكون بطيئة عن مثيلاتها التي تقوم بها بكتريا الكبريت العصوية . وتقوم الفطريات الخيطية بانتاج الكبريتات من بعض المركبات العضوية مثل ، السيستين **Cystine** والثايويوريا **thiourea** والمثيونين **methionine** والتيورين **taurine** والانواع النشطة في هذا المجال هي التابعة الى الاجناس ، ***Microsporum*** ، ***Aspergillus*** ***Penicillium***

ينتج عن اكسدة حبيبات الكبريت الناعمة تكوين كميات كبيرة من حامض الكبريتيك وبذلك تعد اضافة الكبريت المعدني مكافئة تماماً لاضافة حامض الكبريتيك وذلك بفعل نشاط بكتريا الكبريت العضوية وكما موضح في الشكل (٢٢) . إذ تؤدي اضافة الكميات الكبيرة من الكبريت المعدني الى خفض **pH** التربة المتعادلة بدرجة كبيرة حيث قد يصل رقم **pH** التربة الى (٣) او (٢) بعد عدة شهور من الاضافة ويعد ميكروب ، ***T. thiooxidans*** هو المسبب الرئيس لذلك ، اضافة الى ان بعض الانواع الاخرى تقوم ايضا باكسدة الكبريت الحر مثال ، ***T. thioparus*** و ***T. denitrificans*** . كما تزيد معدلات التحول عند تقليل حجم حبيبات الكبريت وعند زيادة درجة الحرارة داخل المدى الحراري المتوسط و pH التربة وبعض العوامل الاخرى .

لقد بذل العلماء المختصون جهوداً كبيرة للتوصل الى معرفة كيفية قيام بكتريا الكبريت العضوية بتكوين الكبريتات ، الا ان مسارات الاكسدة ما زالت موضع جدل كبير ، فمن الممكن ان يكون للميكروبات المختلفة عدة مسارات متباينة تعمل في هذا المجال . كما ان النواتج تتوقف على ظروف التحضين ، وان بعض النواتج الوسطية قد لا تتكون بصورة مباشرة خلال عملية الاكسدة اي يحتمل ان تتفاعل خارج الخلية مع نواتج وسطية اخرى . وقد يكون لبكتريا الكبريت أهمية كبيرة من الناحية الزراعية من عدة نواح خلافاً لدورها المحتمل في تكوين الكبريتات اللازمة لتغذية النبات .



شكل (٢٢) التغيرات في مستوى الكبريتات ودرجة حموضة التربة المعاملة بمستويين مختلفين من الكبريت العنصري (٠,٢٥٪) و (١٪) . عن الكسندر ١٩٧٧ .

فنشاط هذه الميكروبات يعمل على تغيير حموضة التربة مما يؤدي الى تقليل حدة الاصابة بمرض جرب البطاطا أو مرض تعفن البطاطا التي تسببهما اكتينومايسيتات حساسة للحموضة وهي : ***Streptomyces scabies*** المسببة للمرض الاول و ***Streptomyces ipomoeae*** المسببة للمرض الثاني . إذ ان حدة هذه الامراض تقل عند **pH** اقل من (٥) تقريباً لذا يمكن التحكم بهذه الامراض وذلك باضافة الكبريت بكميات كافية لغرض احداث التفاعل الى الدرجة اللازمة للوصول الى مستوى الحموضة المحدد لانتشار المرض .

كذلك يستخدم الكبريت في اصلاح الاراضي القلوية بطريقة مشابهة . فعند اضافة الكبريت الحر الى هذه الاراضي ووجود بكتريا الكبريت العضوية فيها فان حامض الكبريتيك المتكون سوف يعمل على معادلة القلوية في التربة ويحولها الى ارض منتجة . كما يمكن ان يكون تآكل المباني الخرسانية ناشئاً عن نشاط بكتريا

الـ *Thiobacillus* فغاز H_2S في الهواء الجوي دائماً ما يكون مصدر الكبريت لهذه الميكروبات التي تعمل على إتلاف الخرسانة .

وهناك بعض التفاعلات المقترحة التي تتكون عن طريقها الكبريتات ، حيث تتضمن هذه التفاعلات : ـ

١ ـ تحويل الكبريت المعدني الى كبريتيت يتأكسد بدوره الى كبريتات .
٢ ـ ان بعض الكبريتيت المتكون يتفاعل مع الكبريت المعدني المتبقي ليكون الثايوكبريتات .

٣ ـ كما ان الثايوكبريتات اما ان تتكسر الى كبريتيت $SO_3^=$ وكبريت او تتحول الى الثايونات الرباعية وهذه يمكن تحويلها حيوياً الى كبريت او كبريتيت إذ يتأكسد كل منها الى كبريتات . وتلك المسارات المقترحة موضحة كالآتي : ـ

$S \rightarrow SO_3^= \rightarrow SO_4^=$ كبريتات

sulfite كبريتيت

$S + SO_3^= \rightarrow SSO_3^-$

كبريت معدني متبقي — thiosulphate ثايوكبريتات

$^-SSO_3^- \rightleftarrows {}^-O_3SSSSO_3$

tetrathionate ثايونات رباعية

$S + SO_3^=$

$SO_3^= \leftarrow SO_4^=$

وخلال عمليات الاكسدة فان الطاقة المتحررة تكون كالآتي : ـ

$$SH^- \longrightarrow S \longrightarrow S_2O_3^{--} \longrightarrow S_4O_6^{--} \longrightarrow SO_4^{--}$$

40 15 5 100

Kcal Kcal Kcal Kcal

إن اكسدة الكبريت تتسبب في اذابة معادن التربة . فيتفاعل حامض الكبريتيك المتكون مع هذه المعادن والمواد الاخرى غير الذائبة مما يعمل على توفير العناصر

الغذائية . وبذلك تزيد الاكسدة من كميات الصور الذائبة من الفوسفات والبوتاسيوم والمنغنيز والالمنيوم والمغنيسيوم . وعندما يراد معالجة نقص المنغنيز مثلا تعامل التربة بالكبريت او الثايوكبريتات التي تؤدي الى زيادة تركيز ايونات المنغنيز ثنائية التكافؤ. كما بامكان بعض الانواع البكتيرية التابعة للجنس، ***Thiobacillus*** خصوصاً ***T. thiooxidans*** أو ***T. ferrooxidans*** أن تشارك في اكسدة كبريتيدات النحاس والزنك والرصاص والانتيمون والنيكل والكوبلت والكادميوم . كذلك تتعرض الاراضي المجاورة لمناجم الكبريت للتلوث من وقت لآخر بالمواد الخام التي تنقل من هذه المناجم ، وقد ينخفض **pH** هذه التربة الى (٤) أو أقل من (٢) وتصبح المناطق خالية من النباتات الراقية وتقل اعداد البكتريا والاكتينومايسيتات ، أما الفطريات فقد تزداد اعدادها .

٤) اختزال مركبات الكبريت اللاعضوية :ـ

في الظروف اللاهوائية نتيجة الغمر بالماء مثلاً فان مستوى الكبريتيد ، يرتفع وفي الوقت نفسه يقابله نقص في تركيز الكبريتات ، ونتيجة لهذه العمليات فان اعداد البكتريا المختزلة للكبريتات تزداد وقد تتجاوز عدة ملايين في الغرام الواحد من التربة في حين تكون اعدادها تحت الظروف الطبيعية لا تتجاوز (١٠٤) في الغرام الواحد من التربة .

أن معظم الكبريتيد المتراكم في التربة يكون سببه اختزال الكبريتات ويزداد تراكمه ايضاً ، بزيادة المستوى الرطوبي للتربة واضافة المواد العضوية وارتفاع درجة الحرارة مع توفر جهد اكسدة واختزال واطيء وهذا ما يحدث في الظروف اللاهوائية .

إن انواع الكائنات المجهرية التي تقوم بعملية اختزال الكبريتات هي التابعة للجنس ، *Desulfovibrio* وهي مايكروبات غير متجرثمة ولاهوائية اجبارية . ان النوع البكتيري ، ***D. desulfuricans*** هو الاكثر انتشاراً في التربة ، وينمو هذا النوع في درجات حموضة محدودة إذ لا يمكنه النمو في المنابت الغذائية التي تزيد درجة حموضتها على (٥,٥) .

لهذا السبب فان الكبريتيد لا يتكون بكميات كبيرة في الاراضي الحامضية . هناك جنس آخر له القابلية على اختزال الكبريتات وهو ، ***Desulfotomaculum***

الا انه اقل انتشاراً في التربة . بامكان الجنسين اعلاه استخدام الكبريتات والمركبات الاخرى من الكبريت اللاعضوي مستقبلات للالكترونات لكنها لا تتمكن من استخدام الاوكسجين الجوي أو مركبات الكبريت العضوية لهذا الغرض . تتضمن مصادر الطاقة اللازمة للاختزال (مانح الالكترونات) عدداً من المواد الكاربوهيدراتية والاحماض العضوية والكحولات . كما يمكن لبعض العزلات الخاصة بميكروب ***D. desulfuricans*** استخدام الهيدروجين الجزيئي لاختزال الكبريتات $SO_4^{=}$ والكبريتيت $SO_3^{=}$ والثايوكبريتات $S_2O_3^{=}$ وكما موضح في المعادلات الآتية : ـ

(استهلاك (٤) جزيء غرامي من H_2 لكل جزيء غرامي من مستقبل الالكترون)

$$SO_4^{=} + 4H_2 \rightarrow S^{=} + 4H_2O$$

(استهلاك (٣) جزيء غرامي من H_2 لكل جزيء غرامي من مستقبل الالكترون)

$$SO_3^{=} + 3H_2 \rightarrow S^{=} + 3H_2O$$

(استهلاك (٤) جزيء غرامي من H_2 لكل جزيء غرامي من مستقبل الالكترون)

$$S_2O_3^{=} + 4H_2 \rightarrow 2SH^{-} + 3H_2O$$

وهكذا فان المسارات المحتملة لاختزال الكبريتات $SO_4^{=}$ بوساطة بكتريا ***Desulfovibrio*** تكون كالآتي : ـ

$$SO_4^{=} \xrightarrow{ATP} SO_3^{=} \xrightarrow{(ب)} {}^{-}SSO_3^{-} \xrightarrow{(ب)} S^{=}$$

Sulphate — Sulphite كبريتيت — Thiosuphate ثايوكبريتات — كبريتيد

(أ) $SO_3^{=} \rightarrow S^{=}$ كبريتيد

(جـ) $SO_3^{=} \rightarrow O_3SSSO_3^{-} \rightarrow {}^{-}SSO_3^{-} + SO_3^{=}$

Trithionate الثايونات الثلاثية (جـ) ثايوكبريتات كبريتيت

من ملاحظة المخطط اعلاه فان هناك ثلاثة مسارات للتمثيل الغذائي للكبريتيت $SO_3^{=}$: ـ

(أ) اختزال مباشر لانتاج الكبريتيد $S^{=}$.

(ب) تتكون اولاً الثايوكبريتات SSO_3^{-} التي تتكسر بعد ذلك لانتاج الكبريتيد

$S^{=}$ مع اعادة تكوين بعض الكبريتيت SO_3 .

(جـ) انتاج الثايونات الثلاثية O_3SSSO^{-} أولاً ثم تتحول بعد ذلك الى خليط من الثايوكبريتات SSO_3^{-} والكبريتيت $SO_3^{=}$.

ويمكننا تلخيص تأثيرات عملية اختزال الكبريتات $SO_4^{=}$ الى كبريتيد H_2S بالنقاط الآتية : ـ

١ ـ ان التمثيل الغذائي للميكروبات التي تقوم بعملية الاختزال له تأثير سام في المحاصيل والاشجار .

٢ ـ ان انتاج H_2S الحر يسبب اضراراً لجذور النباتات وان وجود ايونات الحديدوز Fe^{++} تعمل على ترسيب الكبريتيد على هيئة FeS اذ تقلل من تأثيره السام .

٣ ـ باستطاعة الـ H_2S الناتج قتل الديدان الخيطية والفطريات التي تعيش في الاراضي المغمورة بالماء .

٤ ـ لعملية اختزال الكبريتات دور بارز في الاراضي الملحية فعند اختزال البكتريا للكبريتات ينتج عنه كميات من الكاربونات وهذه بدورها تعمل على ترسيب الكالسيوم على صورة $CaCO_3$ وبذلك تقلل من ملوحة التربة .

٥ ـ يمكن ان تساعد الكبريتيدات على تآكل الخرسانة الكونكريتية او الحجرية خصوصاً في الاحواض اللاهوائية المستخدمة في معالجة مياه المجاري .

الفصل العاشر

التحولات الحيوية للحديد

Microbiological Transformations of Iron

للاحياء المجهرية الموجودة في التربة دور مهم في تحولات الحديد وفي معظم الأحيان تعد العامل المحدد لتجهيز هذا العنصر أو عدم تجهيزه للنبات . تشكل هذه التحولات :

١ـ أكسدة الحديدوز الى حديديك .
٢ ـ أختزال الحديديك الى حديدوز .
٣ ـ كثير من الأحياء المجهرية تنتج حوامض معدنية وعضوية مختلفة في التربة وهذه بدورها تعمل على اذابة الحديد المترسب .
٤ ـ وفي الظروف اللاهوائية يحتمل ان تختزل الكبريتات الى H_2S الذي يتحد بالحديد ليكون FeS
٥ ـ الكثير من الأحياء المجهرية تهاجم املاح الحديد العضوية الذائبة فتعمل على ترسيب الحديد من محلول التربة .
٦ ـ تكون الأحماض العضوية في التربة يؤدي الى تكوين معقدات من مركبات الحديد العضوية .

وفيما يأتي شرح مفصل لبعض هذه التحولات .

١ ـ أكسدة الحديد **Iron oxidation**

يتأكسد الحديدوز Fe^{++} الى حديديك Fe^{+++} بوساطة البكتريا
Ferrobacillus ferrooxidans* , *Thiobacillus* , *ferrooxidans
تتم عملية التأكسد هذه في مدى من الـ pH يتراوح بين ٢ ـ ٤,٥ .

تحصل البكتريا على الطاقة الناتجة من عملية الأكسدة لتفيد منها في تحويل ثاني أوكسيد الكاربون الى كاربوهيدرات (ذاتية التغذية الكيمياوية **chemoautotrophs**) . ناتج الأكسدة هو ترسيب الحديد بشكل هيدروكسيد الحديديك .

وكما قلنا فان هذه البكتريا تعمل في الظروف الحامضية فقط . أما تفسير وجود ترسبات من هيدروكسيد الحديديك على خلايا بعض الكائنات الحية الموجودة في الترب المتعادلة أو القاعدية فيعتقد أنه ناتج من الأكسدة غير الحيوية للحديد ثم ترسيبه على هذه الخلايا .

ان أكسدة الحديدوز الى حديديك تعني تحويله من الصورة الذائبة الجاهزة للنبات الى الصورة غير الذائبة وغير الجاهزة للنبات فعند اضافة ملح كبريتات الحديدوز الى وسط غذائي معقم ثم تلقيحه بكمية قليلة من التربة وتحضينه تحت ظروف هوائية لفترة من الزمن سوف نلاحظ أن كمية كبيرة من الحديدوز قد تأكسد مقارنة بالكمية القليلة التي ممكن أن تتأكسد كيمياوياً في معاملة المقارنة التي تحوي على وسط غذائي مع تربة معقمة . معادلة التأكسد تكون بالصورة الاتية :

$$4FeSO_4 + O_2 + 2H_2SO_4 \longrightarrow 2Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O$$

تكون الخلايا البكتيرية كما ذكرنا آنفاً مغلفة بهيدروكسيد الحديدك الذي قد يتكون بعملية حيوية أو كيمياوية من كبريتات الحديديك المتكونة في التفاعل السابق . كما هو موضح في المعادلة الاتية :

$$Fe_2(SO_4)_3 + 6H_2O \leftarrow 2Fe(OH)_3 + 3H_2SO_4$$

وجد أن البايرايت FeS_2 يتأكسد ببطء بعملية كيمياوية ولكنه يتأكسد بسرعة بوجود البكتريا ***T. ferrooxidans*** . تكون عملية التأكسد بطيئة عند التعقيم أو في درجة الصفر مما يؤكد أن العملية أو أحدى خطواتها تتم بوساطة البكتريا وفي معظم الأحيان تكون الخطوة الاولى والثالثة كيمياوية أما الخطوة الثانية فهي أنزيمية (حيوية) . المعادلات الاتية توضح ذلك .

$$2FeS_2 + 7O_2 + H_2O \rightarrow 2FeSO_4 + 2H_2SO_4$$

بعدها يتحول الـ$FeSO_4$ الى $Fe(OH)_3$ على وفق المعادلات السابقة .

٢ ـ أختزال الحديد **Iron reduction**

في الظروف الهوائية يكون معظم حديد التربة في أعلى حالة من التأكسد (Fe^{+++}) وقليل جداً في حالة Fe^{++} وعلى العكس من ذلك يحدث عندما تكون التربة غدقة (ظروف لا هوائية) .

العملية حيوية بدرجة كبيرة لأنه قد وجد أنها تتم بصورة بطيئة جداً في التربة الغدقة المعقمة أو في التربة المضاف اليها مواد سامة قاتلة للاحياء المجهرية . وفي هذه العملية تستعمل البكتريا الحديديك كمستقبل للألكترونات بدلاً من الأوكسجين .

كمية الحديدوز المتكونة تتناسب طردياً مع كمية المادة العضوية المتخمرة . وذلك لأنه جميع البكتريا التي تقوم بعملية الأختزال هي من نوع **heterotrophs** . وأعدادها في التربة قد تتراوح بين ١٠^٤ ــ ١٠^٦ لكل غرام تربة . من ضمنها الاجناس . ***Bacillus klebsiella , Serratia , Pseudomonas , Clostridium***

معظم الاجناس التي تعمل على أختزال الحديديك هي نفسها تعمل على أختزال النترات . ويعتقد أن كلا العمليتين تتم بواسطة نفس الأنزيم (**reductase**) . وقد ظهر أن وجود النترات والحديديك في بيئة معينة ملقحة بالبكتريا يؤدي الى تفضيل البكتريا النترات على الحديديك لدرجة توقف أختزال الثاني الى حين نفاذ الأول .

ظاهرة التبقع gleying يعتقد أن ظاهرة التبقع لها علاقة بتحولات الحديد في التربة . اذ تظهر مناطق في قطاع التربة ذات لون رمادي أو أزرق مخضر . وتكثر هذه الظاهرة في المناطق الغدقة من التربة أو التي يكون مستوى الماء الأرضي فيها عالياً نوعاما .

وهذا اللون يعود الى ترسبات من كبريتيد الحديدوز FeS الناتجة من تفاعل الحديدوز مع كبريتيد الهيدروجين المتكونين من اختزال كل من الحديديك والكبريتات في الظروف اللاهوائية . في احدى التجارب التي صممت لدراسة هذه الظاهرة ثم تحضين تربة طينية مع محلول سكري في الظروف اللاهوائية . كنتيجة لفعل البكتريا فقد لوحظ أن لون الطين قد تغير من الأحمر الى الرمادي أو الأبيض . كذلك وجد أن هذا الطين يحوي أعداداً كبيرة من البكتريا المختزلة للحديد قد تصل الى ١٠^٧ لكل غرام تربة وكانت معظمها تابعة للأجناس ***Bacillus*** و ***Pseudomonas***

من الممكن دراسة الترسبات من FeS المتكونة من أتحاد H_2S مع Fe^{++} في المختبر بتلقيح طبق بتري يحوي وسطاً غذائياً يتكون من **iron lactate** و $(NH_4)_2SO_4$ بكمية قليلة من التربة . بعد التحضين يلاحظ تكون مستعمرات بكتيرية محاطة بحلقة سوداء من الـ FeS .

ان تكون الـ FeS في التربة يعرض الأنابيب الحديدية المدفونة الى التآكل مما تسبب خسارة كبيرة تقدر بمئات الملايين سنوياً. الظروف الملائمة لتآكل الأنابيب الحديدية هي: حرارة مناسبة، pH اكثر من 0,0، ظروف لاهوائية، وجود الكبريتات الى جانب الحديد. ويكون التفاعل كما يأتي:

$$4Fe^{++} + SO_4^{=} + 4H_2O \longrightarrow FeS + 3Fe(OH)_3$$

أختزال الحديد (والمنغنيز Mn^{++} - .) لا الكبريتات يؤدي الى غسلهما (أي الحديد والمنغنيز) الى الأسفل داخل التربة. يسبب ذلك مشكلة كبيرة في الأراضي الملحية المستصلحة حديثاً اذ ان وصول هذين العنصرين الى الأنابيب الفخارية المستعملة في البزل التي تتميز بتوفر الظروف الهوائية يؤدي الى تأكسدهما لتكوين ترسبات من الـ Fe_2O_3 الحمراء والـ MnO_2 السوداء. تتم عملية التأكسد بوساطة البكتريا عضوية التغذية وتؤدي الى سد مسامات البزل ان هذه البكتريا معروفة في ترسيب الحديد اما على شكل غلاف يحيط بالخلية أو كابسول أو تراكيب شبيهه بالسيقان. منها الاجناس ***Gallinonella*** (البكتريا التي ترسب الحديد على شكل تراكيب شبيهة بالسيقان) والجنس ***Leptothrix*** (البكتريا المحاطة بغلاف من هيدروكسيد الحديديك). قد تصنف هذه الاجناس أحياناً بالنسبة لمصدر الكاربون والطاقة ضمن الذاتية الأختيارية.

٢ـ تحلل مركبات الحديد العضوية:

يكون الحديد مع المركبات العضوية مركبات بسيطة أو معقدة أو مخلبية احياناً. ان هذه المعقدات تكون عرضة للتحلل من أحياء التربة المجهرية وبالنتيجة ترسب الحديد الداخل في تركيبها على شكل أملاح الحديديك غير الذائبة. اذ وجد عند تلقيح وسط غذائي يحوي على **ferric ammonium citrate** بكمية من التربة ثم ان البكتريا تستعمل السترات مصدراً للكاربون والطاقة تاركة الحديد على شكل ترسبات من هيدروكسيد الحديديك.

وبالطريقة نفسها يترسب الحديد الداخل في أملاح مع كل من الـ **oxalate**، **lactate**، **acetate**، والـ **malate**. البكتريا التي تقوم بعملية التحلل تضم الاجناس، ***Bacillus***، ***Pseudomonas***، ***Serratia***، ***Acinetobacter***، ***Klebsiella***، ***Mycobacterium***، ***Corynebacterium***. كذلك تتمكن بعض

الاجناس الفطرية وبعض الأكتينومايستيات متمثلة بالجنس ***Nocardia*** و ***Streptomyces*** أن تقوم بهذه العملية .

كذلك قد وجد أن النباتات النامية في محلول معقم يحوي المركبات المخلبية الحاوية في تركيبها على الحديد يكون نموها بطيئاً بسبب بطء جاهزية الحديد

اضافة كمية من التربة كلقاح يؤدي الى النمو الجيد . مما يؤكد دور الأحياء المجهرية الموجودة في التربة في تحليل المركبات المخلبية وتحرير الحديد بصورة جاهزة للنبات .

معقدات الحديد مع المركبات العضوية الداخلة في تركيب دبال التربة هي ايضاً تكون عرضة للتحلل من بعض الأجناس البكتيرية مثل ***Pedomicrobium,*** ، ***Metallogenium*** ، ***Seliberia*** اضافة الى الاجناس المذكورة انفاً ودليل ذلك هو ترسبات من هيدروكسيد الحديديك التي تغلف خلايا هذه الأجناس الثلاثة .

الفصل الحادى عشر

انحلال المبيدات وتحولاتها

Decomposition and Transformations of Pesticides

المبيدات Pesticides

المبيدات مواد كيمياوية قد تكون عضوية او لاعضوية صممت للقضاء على الاحياء التي تهدد الانسان والحيوان والنبات . تشمل ، مبيدات الحشرات insecticides ، ومبيدات الفطريات fungicides ، ومبيدات للادغال herbicides ، ومبيدات للبكتريا bactericides ، ومبيدات النيماتودات nematocides .

قسم من المبيدات تضاف مباشرة على سطح التربة ، وقسم منها تحقن تحت السطح وقسم ثالث ترش على سطوح الاوراق لنباتات الادغال وهذه ايضاً بدورها سوف تصل الى التربة بطريقة او باخرى .

ان اهتمام علماء احياء مجهرية التربة راجع الى ان هذه المبيدات قد صممت للقضاء على نوع معين من الكائنات الحية ولكن يحتمل ان تؤثر في الاحياء الاخرى خصوصاً الاحياء الدقيقة الموجودة في التربة التي لها اهمية اقتصادية كبيرة كما لاحظنا سابقاً . اضف الى ذلك ان اغلب المبيدات هي مركبات عضوية يحتمل ان تستعمل مصدراً للكاربون والطاقة ثم تحللها بعد ذلك من احياء مجهرية التربة المتخصصة .

انواع المبيدات :

هناك مئات الانواع من المبيدات العضوية واللاعضوية التي تستعمل في الوقت الحاضر معظمها لها تسميات تجارية مختلفة ومن الصعب جداً دراسة جميعها لذلك سنركز على انواع محددة منها

١ ـ مبيدات الفطريات مثل : Captan, Metham

Pentachlorophenol (PCP), Trichlorophenol (TCP), Quinones (Chloranil),

Pentachloronitrobenzene (PCNB) Tetrachloronitrobenzene (TCNB)

٢ ـ مبيدات الادغال مثل : Dalapon, Trichloroacetic acid (TCA)

2,4,5– Trichlorophenoxyacetic acid (2,4,5– T) 2,4– dichlorophenoxyacetic acid (2,4–D) dicamb, Propanil, 2– methyl 4– Chlorophenoxyacetic acid (MCPA), diuron, Monuron, 2,4– dichlorophenoxybutyric acid (2,4– DB) Propham, 3– chloramben, Simazine, atrazine chloropropham

٣ ـ مبيدات الحشرات مثل : malathion, Parathion, DDT

Aldrin, chlorthion, dicapthorn, methylparathion Heptachlor, Dinitrophenol

العلاقة بين احياء مجهرية التربة والمبيدات :

١ ـ التأثيرات السلبية : هناك ثلاثة عوامل تتحكم بمدى التأثيرات السلبية لاي مبيد هي : نوعه ، والتركيز المستعمل ومدة بقاء المبيد بحالته السمية Persistance . قسم من المبيدات تؤثر في الاحياء المجهرية الحساسة حتى في حالة استعمالها بتراكيز واطئة . من اكثر انواع بكتريا التربة تأثراً هي بكتريا التأزت (Nitrosomonas التي تؤكسد الامونيوم الى نتريت و *Nitrobacter* التي تؤكسد النتريت الى نترات) . عدم تأكسد الامونيوم بوساطة هذه الاجناس البكتيرية معناه تجمعها بتراكيز عالية قد تؤثر في جذور بعض النباتات الحساسة للامونيا كغاز . اضف الى ذلك ان قسماً من النباتات تفضل امتصاص النترات على الامونيوم وقسماً منها لاتمتص الا النترات احياناً .

ومبيدات الادغال والحشرات ـ بصورة عامة ـ يكون لها تأثيرات قليلة في احياء مجهرية التربة (عدا الطحالب) موازنة بمبيدات الفطريات والمبخرات التي يكون لها تأثيرات سلبية كبيرة . ويرجع سبب ذلك الى ان الاولى تستعمل بتراكيز واطئة اما الثانية فتستعمل بتراكيز عالية كذلك اثبت الكثير من التجارب ان المبيدات التي تستعمل بتراكيز واطئة لاتؤثر ـ بصورة عامة ـ على عملية معدنـة النيتروجين العضوي ولا على عملية اختزال النترات الى غاز النيتروجين لكنها قد تؤثر على

البكتريا التي تثبت النيتروجين خصوصاً تلك التي تضاف الى البذور مباشرة . وفي الوقت الحاضر يشتغل الباحثون على ايجاد طفرات وراثية من هذه البكتريا تقاوم تراكيز معينة من المبيدات . اضف الى ذلك انه قد يكون في بعض الاحيان للتراكيز الواطئة تأثير محفز لمسبب المرض لانها قد تقضي على المكافحة الحيوية الطبيعية .

من الممكن دراسة التأثير السمي لاي مبيد في بعض الاجناس البكتيرية الموجودة في التربة باضافة تراكيز مختلفة منه الى بيئة غذائية ملقحة بالبكتريا المراد دراستها ثم تحديد التركيز القاتل . دراسات من هذا النوع تكون مفيدة الى حد ما ولكنها استبعدت جانباً مهماً وهو التربة التي تحوي اجزاءاً معدنية وتراكيب اخرى يمكنها ان تتفاعل مع المبيد وتجعله ضعيفاً او غير سام . كذلك تحوي التربة احياءاً اخرى لاتتأثر بالمبيد بل تحوله الى تراكيب اقل سمية (واحياناً اكثر سمية) . لهذه الاسباب اتجه الباحثون الى التربة مباشرة لتقويم التأثيرات السلبية لاي مبيد . اذ تضاف تراكيز مختلفة من المبيد الى عينات من التربة ويدرس مدى تأثير كل تركيز في العمليات الحيوية داخل التربة مثل معدنة الكاربون العضوي ، ومعدنة النيتروجين العضوي ، ونشاط الانزيمات ، واستهلاك الاحياء الدقيقة للاوكسجين.... الخ .

ماذا يحدث للمبيد الذي يصل التربة ؟

ان اي مبيد يضاف الى التربة مباشرة او يصل اليها بعد رشه على سطوح النباتات يتعرض الى عمليات فيزياوية وكيمياوية وحيوية . من الناحية الفيزياوية يمكن للمبيد ان يتحرك على سطح التربة بوساطة الرياح او الماء . كذلك ممكن ان يغسل الى اعماق التربة ويصل الى الماء الارضي وبالتالي تتلوث مياه الشرب .

ومن الممكن ان يتطاير المبيد من سطح التربة فيصل الى طبقة الاوزون ويؤدي ذلك الى تأثيرات خطرة وهي تدمير طبقة الاوزون واحتمالية وصول الاشعة فوق البنفسجية الى اجسامنا . من الناحية الكيمياوية ممكن ان يتحلل المبيد كيمياوياً بوساطة ضوء الشمس **photochemical decomposition** خصوصاً ذلك القريب من سطح التربة كتحلل الـ **2,4-D** والـ **atrazine** وغيرها . كذلك بامكان المبيد ان يدمص على سطوح الطين او المادة العضوية **(adsorption)** عن طريق الشحنات الموجبة او السالبة الموجودة في تركيب المبيد مع الشحنات السالبة الموجودة على مواد التربة العضوية او اللاعضوية وبالتالي يصبح المبيد اقل سمية . كذلك يصبح غير جاهز

للتحلل الحيوي مدة معينة من الزمن اذ بعملية التبادل الايوني يمكن ان يتحرر المبيد الى محلول التربة ثانية . الجزء الذي يهمنا بصفتنا متخصصون في موضوع احياء مجهرية التربة هو مايتعرض له المبيد من الناحية الحيوية اي تحلله .

التحلل الحيوي للمبيدات :

من الممكن تقسيم الاحياء المجهرية التي تحلل المبيدات على مجموعتين ، الاولى منها تحلل المبيد من دون استعماله مصدراً للكاربون والطاقة الايض المرافق **Cometabolism** او الاكسدة المرافقة **Cooxidation** . فمثلاً هناك بكتريا تابعة للاجناس ***Hydrogenomonas*** وال ***Aerobacter*** وبالاخص ***A. aerogenes*** بامكانها تحليل مبيد الحشرات المقاوم للتحلل **(DDT)** الى **P– chlorophenylacetic acid** من دون الافادة منه كمصدر غذائي كما في التحول الآتي : ـ

DDT → p-chlorophenylacetic acid

كذلك وجد ان مبيدات الادغال مثل **D** ـ 2,4 ، **TBA** ـ 2,3,6 ، او **T** ـ 2,4,5 يمكن ان تتحول الى **dichlorocatechol** ـ 3,5 من دون استعمالها كمصدر للكاربون والطاقة كما يأتي : ـ

2,4-D   2,3,6-TBA   2,4,5-T

3,5-dichlorocatechol

وكذلك البكتريا التي تستعمل الفينول او حامض البنزويك مصدراً للكاربون والطاقة بإمكانها ان تنمو في وسط غذائي لا يحوي على هذه المواد وإنما يحوي مواد عضوية اخرى مثل المبيدات Chlorophenol او الـ 3- chlorobenzoic acid فتحولها بعملية الـ cometabolism الى مواد غذائية مقاربة لاحتياجاتها ومتطلباتها الغذائية .

المجموعة الثانية من الاحياء المجهرية بإمكانها ان تستعمل المبيدات مصدراً للكاربون والطاقة والنيتروجين واحياناً الكبريت لتحللها بطرق مختلفة منها ،

١ ـ عملية تحويل المبيد من الحالة السامة الى حالة غير سامة اي ما يسمى بإزالة السمية **detoxication** كتحول الـ **D** ـ **2,4** بوساطة الجنس **Arthrobacter** الى **2,4- dichlorophenol** وكما يأتي ،

$$2,4-D \longrightarrow 2,4\text{-dichlorophenol} + CH_3COOH \;(\rightarrow T.C.A)$$

2,4 - D (O-CH2-COOH, Cl, Cl) → 2,4-dichlorophenol (OH, Cl, Cl) + CH3COOH → T.C.A

٢ ـ التنشيط **activation** ، يمكن لقسم من الاحياء المجهرية ان تحول مواد معينة غير سامة او قليلة السمية الى مبيد حقيقي سام كتحول مبيد الادغال قليل السمية **(2,4-DB)** ـ 4 الى مبيد ادغال آخر اكثر سمية (**D** ـ 2,4) كما يأتي ،

$$4-(2,4-DB) \longrightarrow 2,4-D + CH_3COOH \;(\rightarrow T.C.A.)$$

4 - (2,4-DB) (O-(CH2)3-COOH, Cl, Cl) → 2,4-D (O-CH2-COOH, Cl, Cl) + CH3COOH → T.C.A.

٣ ـ تحويل مجال السمية ، تقوم بعض الكائنات الدقيقة بتحويل مبيد معين يستعمل ضد نوع معين من الاحياء الى نوع آخر يقتل انواع اخرى تختلف عنها مثل تحويل المبيد الفطري **Pentachlorobenzyl alcohol** الى مبيد الـ **Pentachlorobenzoic acid** الذي يقتل النباتات كما يأتي ،

Cl Cl Cl Cl Cl — CH_2OH ⟶ Cl Cl Cl Cl Cl — COOH

pentachlorobenzyl alcohol   pentachlobenzoic aci

٤ ـ تعقيد المبيد **Conjugation** ، اي تضاف الى حلقة البنزين الداخلة في تركيب الكثير من المبيدات مجموعة ميثيل او حامض اميني او حامض عضوي او ربطه مع مركبات اخرى لجعله اكثر تعقيداً . في معظم هذه الحالات سوف يتحول المبيد من الحالة السامة الى غير السامة كتحول مبيد الـ **Propanil** في التربة بالطريقة الآتية ،

Cl Cl — $N(H)-C(=O)-CH_2-CH_3$ ⟶ Cl Cl — NH_2 + CH_3-CH_2-COOH ⟶ T.C.A.

3,4-dichloroaniline

↓ condensation

Cl Cl — N=N — Cl Cl

٥ ـ التحلل الحيوي **Biodegradation** : تقوم الاحياء المجهرية من اجناس معينة من البكتريا والفطريات بتحليل المبيدات الى غاز ثاني اوكسيد الكاربون والعناصر المعدنية الاصلية المكونة له . وقسم من الكاربون المكون للمبيد سوف يستعمل في بناء خلايا جديدة . خطوات التحلل تختلف من مبيد الى آخر . وفيما يأتي امثلة على تحلل بعض المبيدات في التربة :

أ ـ تحلل مبيدات الأدغال المشتقة من الـ **Phenoxyacetic acid**

قسم من هذه المبيدات تتحلل بسرعة في التربة وقسم منها تبقى مدة طويلة تقاوم التحلل . هناك حوالي ١٦ نوعا من البكتريا المشخصة في قابليتها على تحليل المبيدات المشتقة من الـ **Phenoxyacetic acid** بصورة كاملة . الفطريات المحللة لهذه المركبات قليلة جداً وقد وجد ان الفطر ***Aspergillus niger*** له القابلية على اضافة مجموعة هيدروكسيل الى الحلقة العطرية فقط . وبصورة عامة قابلية هذه المبيدات على التحلل بوساطة احياء مجهرية التربة تعتمد بدرجة كبيرة على تركيب المبيد نفسه (اضافة الى العوامل المذكورة سابقاً التي تؤثر في الاحياء المجهرية المحللة) . فمثلاً موقع ذرة الكلور على حلقة البنزين في تركيب المبيد له تأثير في مدى مقاومته للتحلل فأذا كانت في وضع **Para** بالنسبة للسلسلة المستقيمة المتصلة بحلقة البنزين تحلل المبيد اسهل مما اذا كانت في وضع **meta** . اصعب هذه المبيدات تحللاً هي التي يكون فيها وضع ذرة الكلور **ortho** بالنسبة للسلسلة المستقيمة . وجود مجموعة ميثيل متصلة بحلقة البنزين تزيد من مقاومة المبيد للتحلل . وفيما يأتي بعض الأمثلة على كيفية تحلل هذه المبيدات في التربة .

١ ـ تحلل الـ **2,4 –D** بواسطة ***Achromobacter Sp.***

O−CH_2COOH

Cl

Cl

2,4−D

β-oxidation →

OH

Cl

Cl

2,4-dichlorophenol

+ CH_3COOH → T.C.A.

1) dechlorination
2) hydroxylation

OH

OH

Cl

4-chlorocatechol

ring cleavage ←

COOH

COOH

Cl

↓

↓

$CO_2 + H_2O + Cl^-$

٢ ـ تحلل الـ 2,4 – DB بواسطة ***Flavobacterium sp.***

$O(CH_2)_3COOH$

Cl

Cl

2,4 – DB

OH

Cl

Cl

2,4-dichlorophenol

$CH_3-CH_2-CH_2-COOH$

$CH_3-CH=CH-COOH$

β- oxidation

OH

OH

Cl

4- chlorocatechol

CO_2+H_2O

ب ـ تحلل مبيدات الأدغال المشتقة من اليوريا .

من المعروف انه هناك أجناسا كثيرة من البكتريا والفطريات المتخصصة في تحليل المبيد المشتق من اليوريا ***(monuron*** والـ ***diuron)*** مثل ***Bacillus*** ، ***Aspergillus*** ، ***Pseudomonas*** ، ***Sarcina*** ، ***Xanthomonas*** ، ***Penicillium***

وأجناساً اخرى . تفصيلات كاملة لعملية التحلل غير معروفة حتى الان ولكن الخطوة الاولى في التحلل هي إزالة مجاميع الميثيل المتصلة بالنيتروجين كما يأتي ،

Diuron

$2CH_2OH \rightarrow CO_2 + H_2O$

قد تبقى في التربة لفترة طويلة نسبياً ؟

$+ CO_2$
$+ NH_3$

جـ ـ تحلل مبيدات الأدغال المشتقة من الـ **carbamate** : المبيد **Propanil** يمكن ان يتحلل بسرعة بوساطة أجناس من البكتريات مثل ***Achromobacter*** و ***Arthrobacter*** . وفيما يأتي جزء من تحلل هذا المبيد بوساطة احياء مجهرية التربة .

د ـ تحلل مبيد الفطريات **P- nitrobenzoic acid**

يتحلل هذا المبيد بوساطة الجنس ***Nocardia*** على وفق الخطوات الآتية :

١ ـ أزالة مجموعة الـ NO_2 من حلقة البنزين بشكل امونيا .

٢ ـ اضافة مجاميع هيدروكسيل الى حلقة البنزين بواسطة أنزيم متخصص يسمى **mono- oxygenase** لتكوين مشتقات من مركب الـ **catechol** .

٣ ـ أنشقاق الحلقة بوساطة أنزيمات متخصصة ايضاً تسمى **di- oxygenase** لتكوين مركبات بسيطة تدخل مباشرة في دورة الـ **T.C.A.**

$COOH$ — NO_2 $\xrightarrow[+OH^-]{NH_3}$ $COOH$ — OH $\xrightarrow{+OH^-}$ $COOH$ — OH, OH

↓ ring cleavage

$COOH$ / $COOH$ / $COOH$ $\xrightarrow{CO_2}$ O / $COOH$ / $COOH$ ⟷ $COOH$ – CH_2 – $C=O$ – CH = CH – $COOH$

β_Ketoadipic acid

β_carboxymuconic acid

↓

CH_3COOH acetic acid + $COOH$ – CH_2 – CH_2 – $COOH$ succinic acid ⟶ T.C.A. ⟶ CO_2 + H_2O

↓ T.C.A. ↓ $CO_2 + H_2O$

هـ ـ تحلل مبيد الحشرات DDT في التربة .

يعتقد بأن الخطوات الاولى في تحلل الـ DDT هي عمليات أختزال تتم تحت الظروف اللاهوائية وحوالي ٧٠ ٪ منه يمكن ان يختزل الى DDD خلال مدة ٤٨ ساعة بوساطة الأنزيم DDT – reductodehalogenase الذي يمكن ان تفرزه البكتريا *Aerobacter aerogenes* . كذلك يمكن للأجناس *Hydrogenomonas* , *Arthrobacter* ان تحلل المبيد تحت الظروف الهوائية واللاهوائية . فيما يأتي بعض خطوات التحلل : ـ

DDT: H – C – Cl_3 → (H^+, Cl^-) → DDD: H – C – $CHCl_2$ → ($2H^+$, $2Cl^-$) → DDM: CH_2

↓

CH_2COOH + $CH_3(CH_2)_4Cl$ → $CO_2 + H_2O + Cl^-$

ring cleavage → $CH_3(CH_2)_6Cl$ → $CO_2 + H_2O + Cl^-$

يعد الـDDT من أصعب المبيدات تحللاً في التربة ويمكنه ان يبقى مدة طويلة من دون تحلل . وهذا هو السبب الرئيس الذي أدى بالناس الى التوقف عن استعماله لأنه قد سبب مشاكل كثيرة بسبب مقاومته للتحلل خصوصاً للطيور الداجنة التي تعمل على تجميع المبيد في اجسامها مما يؤدي الى هلاك الكثير منها .

بالنظر لصعوبة تكملة دراسة تحلل جميع الأنواع المختلفة من المبيدات بالتفصيل في كتاب منهجي من هذا النوع سوف نستعرض فيما يأتي التفاعل أو الخطوة الاولى في تحلل اي مبيد من هذه المبيدات وبصورة عامة :

١ ـ اضافة مجموعة هيدروكسيل (OH) كما لاحظنا سابقاً

$$R\,CH_3 \xrightarrow{OH} RCH_2OH$$

٢ ـ أكسدة مجموعة الأمين الموجودة في تركيب بعض المبيدات .

$$R\,NH_2 \rightarrow R\,NO_2$$

٣ ـ أكسدة الكبريت الموجود في تركيب بعض المبيدات

$$R_2S \rightarrow R_2SO \rightarrow R_2SO_2$$

٤ ـ اضافة ذرة اوكسجين لرابطة مزدوجة . ينتج عن ذلك مركباً يسمى ايبوكسايد المقاوم لفعل الاحياء مدة طويلة

$$R - CH = CH - R^- \rightarrow R - CH \overset{O}{\frown} CH - R^-$$

٥ ـ اضافة مجموعة ميثيل :

$$CH_3 - AS\ O\ OH - ONa \rightarrow (CH_3)_3\,As$$

٦ ـ ازالة مجموعة ميثيل :

$$RN(CH_3)_2 \longrightarrow RN(CH_3)H \longrightarrow RNH_2$$

٧ ـ ازالة ذرة كلو او غيرها من الهالوجينات التي توجد في العديد من المبيدات :

$$R\ CH_2Cl \rightarrow R\ CH_2\ OH$$

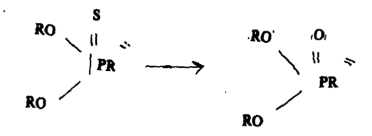
$$RCCl_3 \rightarrow RCHCl_2$$

$$R\ R\ CHCCl_3 \rightarrow R\ R\ C=CCl_2$$

٨ ـ إختزال مجموعة النتريت :

$$R\ NO_2 \rightarrow RNH_2$$

٩ ـ استبدال ذ رة الكبريت بالاوكسجين :



١٠ ـ تحرك الكلور من موقع اتصالها في ذرة الكاربون الى اخرى في التركيب الحلقي لبعض المبيدات وعند اضافة مجموعة هيدروكسيل :

OCH2COOH — Cl — Cl → OCH2COOH — Cl — Cl — OH

١١ ــ ازالة رابطة الايثر .

$$ROR^{-} \rightarrow ROH + R^{-}H$$

١٢ ــ تحلل بعض السلاسل الجانبية .

$$R - CH_2 - CH_2 - CH_2COOH \rightarrow R - CH_2\,CO\,CH_2\,COOH$$

$$\swarrow$$

$$RCH_2COOH$$

١٣ ــ التحلل المائي وتكسير الجزيء عند اضافة الماء اذ تتعرض بعض المبيدات لأنواع مختلفة من تفاعلات التحلل المائي .

$$R - CO - O\bar{R} + H_2O \rightarrow R - COOH + \bar{R}OH$$

$$R - CO - N\begin{matrix} R^{-} \\ R^{=} \end{matrix} + H_2O \rightarrow R - CO - OH + HN\begin{matrix} R^{-} \\ R^{=} \end{matrix}$$

١٤ ـ كسر الحلقة اذ ان هذه الحالة ضرورية في الانحلال الحيوي الكامل لمبيدات الحشائش والحشرات اذ تنتج بعد ذلك بعض المركبات التي تستخدم مصدراً للكاربون والطاقة في عمليات التخليق الحيوي . وهذه الحالة كما لاحظنا سابقاً ـ خاصة بالمركبات العطرية Aromatic compounds .

بعض الأجناس البكتيرية والفطرية مع المبيدات التي تحللها :

١ ـ *Pseudomonas* ، يمكن ان تحلل كل من : Dalapon, TCA diquat, Paraquat, PCP, monuron, 2, 4-D،

٢ ـ *Arthrobacter* ، يمكن أن تحلل كل من : 2,4- D, Dalapon ، *Propanil, 2,4,5-T, DNOC, TCA*

٣ ـ *Flavobacterium* ، يمكن ان تحلل : *Dalapon, 2,4,5- T 2,4-D*

٤ ـ *Achromobacter* ، تحلل الـ MCPA, 2,4,5- T, 2,4-D ،

٥ ـ *Nocardia* : Propanil, 2,4- D, Dalapon ·

٦ ـ *Bacillus* ، Dalapon والـ monuron .

٧ ـ *Trichoderma* ، TCA والـ Picloram .

٨ ـ *Aspergillus* ، Monuron ، 2,4-D, Dalapon, ·

إعتبارات أخرى في تحلل المبيدات :

١ ـ ان اضافة مبيدين ممتزجين الى التربة ببعضهما يحتمل أن يؤدي الى قتل بعض النباتات الأقتصادية بدلاً من حمايتها . فقد وجد أن أضافة المبيد cygon ضد حشرة المن بعد تبخير التربة بالمبيد بروميد الميثيل methyl bromide يكون له تأثير سلبي وذلك لأن بروميد المثيل يمكن أن يقضي على الكائنات الحية الموجودة في التربة التي تحلل مبيد المن الذي يدخل التربة وبقاء الثاني في التربة يعني أمتصاص النباتات المزروعة له وبالتالي يؤدي الى قلة الحاصل .

٢ ـ معظم المبيدات المستعملة تحوي ذرة أو ذرات من الكلور أو البروم أو اي عنصر آخر في تركيبها . ونتيجة التحلل تتحرر هذه العناصر التي قد يكون قسم منها ساماً للنباتات الحساسة مثل الحمضيات وبعض المحاصيل الخضرية . وفي بعض

الأحيان يتكون غاز الأمونيا الذي من المفروض أن يتأكسد الى نترات ولكن بسبب قتل المبيد لمعظم بكتريا النترجة يتجمع غاز الأمونيا الذي يكون ساماً لبعض النباتات الحساسة .

٣ ـ يمكن لقسم من المبيدات أن تقضي على فطريات المايكورايزا وبالتالي تقلل من جاهزية الفوسفور والزنك والنحاس التي تأتي عن طريق الفطر الذي يمتد الى أعماق التربة .

وبسبب هذه الأعتبارات أو التأثيرات السلبية للمبيدات ينصح صانعو هذه المواد بعدم زراعة النباتات الأقتصادية (باستثناء حالة مبيدات الرش المباشر على النباتات الخضراء) بعد استعمال المبيد مباشرة وذلك للتخلص من سميته عن طريق التحلل الحيوي أو عن طريق التبخر أو الغسل أو التثبيت من حبيبات التربة العضوية والطين .

الفصل الثاني عشر

« العلاقات المتبادلة بين انواع الكائنات المجهرية في التربة »

ان العلاقات المتبادلة بين مجموعات الكائنات تجعلها في تغير مستمر ويبقى هذا التغيير عند مستوى مميز للكائنات الحية الموجودة ويتحكم التوازن الحيوي الناتج عن هذه العلاقات في تكوين ميكروبات هذا الوسط. ان التغير في الظروف البيئية المحيطة تحدث تغييراً مؤقتاً في التوازن الحيوي ولكنه يعود الى حالته الاصلية مع احتمال حدوث تحوير في المجتمع المايكروبي Microbial community حتى يتأقلم مع الظروف الجديدة . ويحدث هذا التبادل لان أغلبية احياء التربة تعيش متقاربة بعضها مع البعض الآخر وخصوصاً في مناطق التربة القريبة من جذور النباتات ، ومن المحصلة الكلية للعلاقات ينشأ ما يعرف بمجتمع الذروة ، Climax Community.

المنطقة المحيطة بالجذور والعلاقة بين الكائنات الدقيقة فيها :

ان المنطقة المحيطة بجذور النباتات التي تعرف بالرايزوسفير Rhizosphere هي منطقة التربة التي تحيط بجذور النباتات حيث تتكون الكلمة من مقطعين Rhizo والمقصود بها الجذر و Sphere المقصود به المنطقة المحيطة به او الجسم الكروي . وهناك تعاريف عديدة لهذه المنطقة كلها بمعنى واحد حيث تعرف بانها الوسط البيئي الذي يقع تحت تأثير جذور النباتات وتعرف ايضاً بانها منطقة التربة التي تتغير فيها اعداد الميكروبات كماً ونوعاً بوجود جذور النباتات كذلك يمكن تعريفها بالمنطقة الممتدة للمليمترات القليلة من سطح الجذر التي تتأثر بها اعداد الاحياء المجهرية في التربة بالفعاليات الكيمياوية للنبات وهناك تغيير كمي ونوعي بالنسبة للاحياء القريبة من الجذر (R) عن المنطقة البعيدة عنه (S) .

لمعرفة مدى تأثير الجذور في نمو المايكروبات ونشاطها التي تعيش حولها تستعمل نسبة R/ S ratio حيث :

R = عدد المايكروبات النامية في المنطقة المحيطة بالجذور .

S = عدد المايكروبات النامية في التربة البعيـدة عن الجذور أو ما تعرف بتربة المقارنة **Control** وكلها تحسب على اساس الوزن الجاف .

إن أول من اقترح اسم هذه المنطقة هو العالم هلتر **Hilter** عام ١٩٠٤ وكان يقصد بها التربة القريبة من جذور البقليات حيث يتحفز فيها نمو البكتريا غير ذاتية التغذية بتأثير المواد النيتروجينية المتحررة من العقد الجذرية **nodules** ثم شمل المعنى بعد الدراسات المستفيضة جميع جذور النباتات . وقد قسم العالم الكسندر ١٩٧٧ منطقة الرايزوسفير على قسمين : ــ

١ ــ الرايزوسفير الداخلية : **Inner Rhizosphere** وهي سطوح الجذور .
٢ ــ الرايزوسفير الخارجية : **Outer Rhizosphere** وهي المنطقة المتاخمة لجذور النباتات .

كما عرف ايضا تلك المنطقتين ، سطوح الجذور الخارجية والتربة الملاصقة لها واطلق عليها اسم الرايزوبلين : **Rhizoplane** .

إن الزيادة الكبيرة في اعداد الاحياء في منطقة الرايزوسفير يرجع الى افرازات الجذور من السكريات والاحماض الامينية والاملاح المعدنية ومن الخلايا والانسجة الميتة المنسلخة عن الجذور التي تعد مصدراً كبيراً للمادة العضوية التي تتغذى عليها الاحياء الدقيقة المتباينة التغذية (الاحياء غير الذاتية التغذية) .

لقد لاحظ الكثير من العلماء زيادة في عمليات التنفس ، والنترجة ، واختزال النترات وتثبيت النيتروجين في منطقة الرايزوسفير عما هو عليه في المناطق الاخرى ، ويعود هذا النشاط لجميع الكائنات الحية في هذه المنطقة الى توفر الغذاء بكميات كبيرة ومصدر الطاقة ، حيث ان توفر عنصر الكاربون العضوي يرجع الى توفر المصدر الرئيس له من خلال افرازات الجذور وانسلاخ خلاياها الناتجة عن تغلغل الجذور داخل التربة والاغلفة المحيطة بها من الخارج وهي عبارة عن مواد جلاتينية شفافة . وقد بين العالم **Rovira** ١٩٦٥ بعض مكونات تلك الافرازات الناتجة من الجذور ، جدول (١٤) .

جدول (١٤) بعض مكونات افرازات الجذور كمصدر للكاربون العضوي للكائنات الحية الدقيقة (عن روفيرا ١٩٦٥) .

افرازات الجذور	مكوناتها
الكاربوهيدرات Carbohydrates	Glucose , Fructose , Sucrose , Xylose , Maltose , Rhamnose , Arabinose , Raffinose.
احماض امينية Amino Acids	Lenic , Isoleucin, Valine , Amino butyric acid , Glutamine, Glutamic acid , Cystine , Cysteine , Glycine , Lysine.
احماض عضوية Organic Acids	Oxalic , Citric , Malic, Acetic , Propionic , Butyric , Valeric , Suc sinic , Fumaric.
انزيمات Enzymes	Phosphatase , Invertase, Amylase , Protease.
مركبات اخرى Other Compounds	Biotin, Thiamin, Cholin, Inositol , Auxine, P– amino–benzoic acid.

الكائنات المجهرية بمنطقة الجذر :

كما قلنا سابقاً بان المجموع الجذري يرتبط بالوسط الحيوي اضافة الى المواد العضوية والمعدنية ومنطقة الرايزوسفير هي الوسط البيئي الذي يقع تحت تأثير جذور النباتات ، حيث ان النبات يهيء وسطاً فريداً من نوعه للكائنات المجهرية والنبات بدوره يتأثر بدرجة واضحة بوساطة مجموعة من الميكرويات .

وتتميز هذه الكائنات الدقيقة بالاختلاف في خواصها عن غيرها من كائنات التربة .

لقد اظهرت الدراسات الميكرسكوبية وجود مجتمع كثيف من الميكروبات يحيط بالجذور وعلى اسطح انسجتها الخارجية وشعيراتها الجذرية . وتنتشر الخلايا البكتيرية على وجه الخصوص على صورة سلاسل او تجمعات في حين توجد الفطريات والاكتينومايسيتات بدرجة اقل . وتوجد الابتدائيات (البروتوزوا) خاصة السوطيات والهدبيات الكبيرة الحجم منها بدرجة ملحوظة في الاغشية المائية الموجودة على سطح الجذور وعلى انسجة البشرة .

إن اكثر الانواع البكتيرية استجابة الى تأثير الجذور هي العصويات القصيرة السالبة لصبغة كرام في حين تقل اعداد كل من العصويات القصيرة الموجبة لصبغة كرام والكروية والمتجرثمة مثال الجنس : ***Bacillus*** . اما الاجناس الشائعة في منطقة الرايزوسفير فهي : ***Alcaligenes*** و ***Flavobacterium*** و ***Agrobacterium*** واحياناً الاجناس :

Pseudomonas , Corynebacterium, Arthrobacter, Micrococcus, Mycobacterium, Rhizobium, Serratia, Xanthomonas.

وهناك تنافس شديد بين الميكروبات في منطقة الرايزوسفير وذلك للكثافة العددية الموجودة فيها . وتعدُ بكتريا النشدرة من اهم مجاميع البكتريا الفسيولوجية التي تستجيب بدرجة واضحة لوجود جذور النباتات الحية وقد لوحظ ارتفاع شديد في نسبة **R/ S** الخاصة بهذه الميكروبات التي تصل الى العديد من المئات في بعض الاحيان وسوف توضح هذه العلاقة لاحقاً . كذلك تشجع افرازات الجذور بدرجة واضحة انبات الاطوار الساكنة للعديد من الفطريات مثل : ***Fusarium*** و ***Sclerotium*** حيث تبقى الاطوار مثلاً في بعض الانواع التابعة للجنس الاخير ساكنة عدة سنين وخصوصاً الاجسام الحجرية للفطر : ***Sclerotium cepivorum***

هناك علاقات مهمة بين الكائنات الحية في هذه المنطقة من جهة وبين الكائنات الحية وجذور النباتات من جهة اخرى اذ يمكن ان يحدث الآتي في المنطقة القريبة من جذور النباتات : ـ

١ ــ يحدث تعايش الفطريات مع جذور بعض النباتات وخاصة اشجار الغابات ، اذ يوجد اكثر من (٧٠) نوعاً من الفطريات تكون المايكورايزا my corrhizas. ان بعض العلماء لا يعد فطريات المايكورايزا من فطريات التربة لانها لا تنمو بصورة صحيحة في المنابت الصناعية على عكس نموها بصورة تعايشية مع الجذر .

٢ ــ يحدث ايضاً في المنطقة المحيطة بالجذور (الرايزوسفير) تعايش بكتريا العقد الجذرية ***Rhizobium*** وجذور النباتات البقلية ، إذ يستفيد كل منهما من الآخر فالبكتريا تجهز النباتات بالنيتروجين بعد تثبيته حيوياً والنباتات تجهز البكتريا بالكاربوهيدرات لبناء خلاياها .

٣ ــ يحدث ايضاً تعايش بعض انواع الطحالب مع الفطريات بما يدعى بالاشنات حيث ان هناك ايضاً علاقة تكافلية ذات منفعة متبادلة للكائنين .

٤ ــ كما قد يحدث ان بعض انواع الفطريات تسبب تعفن الجذور ، فالنمو الهائل للبكتريا يستعمر الاجناس الفطرية المسببة للامراض ويقلل من الاصابة وهذا يدخل ضمن المقاومة الحيوية التي قد تحدث في منطقة الرايزوسفير .

هناك عوامل تؤثر في طبيعة منطقة الرايزوسفير والاحياء الموجودة على سطوح الجذور منها ، نوع النبات والجذر وعمر النبات ونوع التربة والوسط والتداخلات المحتملة بين تلك العوامل .

إن مساهمة النبات في هذه المنطقة تتلخص بالامداد بالغذاء والانسجة المتحللة كمصادر للطاقة والكاربون والنيتروجين ، واستهلاك المواد المعدنية من قبل النبات يخفف تركيزها على الاحياء الموجودة في منطقة الرايزوسفير ، كما أن CO_2 الناتج من تنفس الجذور وتكوين حامض الكاربونيك H_2CO_3 في التربة يسهل اذابة المواد المعدنية ، واخيراً فان النباتات تساهم في تحسين تركيب التربة **Soil structure** التي تشجع عملية الاكسدة الحيوية .

ان طرق تقدير تأثير منطقة الرايزوسفير في الاحياء المجهرية للتربة يمكن ان تتم باحدى الطرق الآتية : ــ

١ ــ طريقة العد بالاطباق **Plate Count**

٢ ــ طريقة العد المباشر بوساطة الميكرسكوب
direct count – microscope-

٣ ـ قياس الفعالية التنفسية (تقدير تحرر CO_2)

Respiratory measurements (CO_2– Production)

وكما بينا سابقا فان هناك تنافساً شديداً بين ميكروبات منطقة الرايزوسفير

وذلك لكثافة عددها . إذ تعد بكتريا النشدرة **Ammonifier bacteria** من اهم مجاميع البكتريا الفسيولوجية التي تستجيب بدرجة واضحة لوجود جذور النباتات الحية وكما يلاحظ من الجدول (١٥) . كذلك تشجع افرازات الجذور بدرجة واضحة انبات الاطوار الساكنة للعديد من الفطريات مثل الفطر ، ***Fusarium***

جدول (١٥) يبين عدد الاحياء المجهرية في منطقة الرايزوسفير لتربة مزروعة واخرى غير مزروعة (عن كري ووليام ١٩٧٩) .

نوع الاحياء المجهرية	تربة الرايزوسفير (R)	تربة المقارنة (S)	النسبة التقريبية الى R/S	نوع العلاقة
البكتريا	١٢٠٠ × ١٠^٦	٣٥ × ١٠^٦	١ : ٢٣	معنوية على ١ ٪
الاكتينومايسيتات	٤٦ × ١٠^٦	٧ × ١٠^٦	١ : ٧	معنوية على ١ ٪
الفطريات	١٢ × ١٠^٥	١ × ١٠^٥	١ : ١٢	معنوية على ١ ٪
البروتوزوا	٢٤ × ١٠^٢	١٠ × ١٠^٢	١ : ٢	معنوية على ١ ٪
الطحالب	٥ × ١٠^٣	٢٧ × ١٠^٣	١ : ٠,٢	معنوية على ٥ ٪
بكتريا النشدرة	٥٠٠ × ١٠^٦	٤ × ١٠^٦	١ : ١٢٥	معنوية على ١ ٪
البكتريا المكونة للسبورات	٩٣٠ × ١٠^٣	٥٧٥ × ١٠^٣	١ : ١	غير معنوية

العلاقات بين الكائنات الحية بصورة عامة :

إن العلاقات المتبادلة بين الانواع بصورة عامة تكون ضمن الاشكال الآتية : ـ

١ ـ الحياد : **Neutralism** ـ حيث يسلك كل نوع مسلكاً مستقلاً عن النوع الآخر مختلفاً عنه تماماً وبدون اي تأثير .

٢ ـ التكافل : **Symbiosis** ـ حيث يعتمد كلا النوعين المتكافلين على الآخر وكلاهما يفيد من هذه العلاقة .

٣ ـ التعاون الاولي : **proto cooperation** ـ وهو عبارة عن علاقة تبادل منفعة بين نوعين من الكائنات الدقيقة وان هذا التعاون لا يعد ضرورياً لبقائهما أو لاحداثهما بعض التفاعلات .

٤ ـ المنفعة من جهة واحدة : **Commensalism** ـ تكون الافادة هنا من جهة واحدة حيث يفيد احد النوعين من الآخر في حين لا يتأثر النوع الآخر .

٥ ـ التنافس : **Competition** ـ وهي الحالة التي ينشأ عنها وقف لنمو احد النوعين اذ يكافحان في الحصول على احتياجاتهما من المواد الغذائية المحدودة كالاوكسجين او غيره من الاحتياجات الاخرى .

٦ ـ التضاد : **(Amensalism) Antagonism** ـ في هذه الحالة يوقف احد نوعي الميكروبات نمو النوع الثاني نتيجة لانتاج التوكسينات أو أية مادة اخرى مانعة للنمو .

٧ ـ التطفل والافتراس : **Parasitism & Preation** ـ كلا الحالتين عبارة عن مهاجمة احد الانواع النوع الآخر بصورة مباشرة .

مما تقدم يمكن ملاحظة النقاط الثلاث الآتية في هذا المجال : ـ

أ ـ في العلاقات القريبة للانواع فانه لا يمكن عدم تأثر العائل وباختصار فان تعبير المنفعة من جهة واحدة **Commensalism** ذا معنى محدود اذا ما قرن بمعناه في الحالة النسبية .

ب ـ ان الحد الفاصل بين التعايش والتطفل قد لايكون واضحاً دائماً فالبايولوجيون يستعملون تعبير التعايش **Symbiosis** بمعناه الاصلي (العيش معاً) : **Living together** وبعد ذلك تتوالى التقسيمات . حيث يمكن تقسيم علاقات التعايش الى التعايش المتبادل **Immutalistis symbiosis** ومعناه التعايش بصفة مطلقة ، وهناك التعايش المتطفل : **Parasitic symbiosis**

ومعناه التطفل بصورة مطلقة ايضاً . كذلك يمكن تقسيم التعايش الى التعايش الداخلي Endo symbiosis الذي يعيش فيه الكائن الحي الدقيق مع خلايا وانسجة العائل وهناك التعايش الخارجي ، Ectosymbiosis الذي تعيش فيه الافراد المتعايشة بصورة منفصلة عن بعضها .

ان هذا التقسيم الجائر وهذه الميول المختلفة في التقسيم قد تعطى فكرة خاطئة عن العلاقات البيئية في الطبيعة نتيجة لتشعب التقسيمات وتعددها عن تلك العلاقات .

جـ ـ في حالة العلاقات بين الانواع يجب التأكد على ان الفوائد التي يحصل عليها الكائن الحي نتيجة علاقته مع العائل معبرة للحالة الجماعية وليست الحالة الفردية التي لاتمثل حالة العلاقة بشكلها العام .

تعد التربة مزرعة متجانسة لمجموعات وانواع مختلفة من الميكروبات تنمو وتتكاثر في نفس البيئة مختلطة بيعضها لذا تتأثر فعاليات هذه الاحياء بعضها ببعض وكل نوع او مجموعة معينة من هذه الاحياء لاتكون اعدادها ثابتة دائماً بل تكون معرضة للتغيير المستمر حسب تأثر كل نوع بظروف البيئة التي ذكرت سابقاً من جهة وبنوعية العلاقات الموجودة بين انواع احياء التربة من جهة اخرى .

ان علاقات التضاد والتعاون بصورة خاصة تسيطران الى حد بعيد على التوازن البايولوجي في التربة ، كما يمكن تصنيف العلاقات بين الانواع المختلفة في التربة حسب ذلك الى : ـ

١ ـ علاقات المشاركة المفيدة : ـ

توجد في التربة ثلاثة انواع من العلاقات وهي التكافل والتعاون الاولي والمنفعة من جهة واحدة ، ان وجود الميكروبات في حيز محدود وبكثافة عددية كبيرة يدفع تلك الميكروبات للقيام بايجاد علاقات يكون بعضها مفيداً وبعضها ضاراً . ان اغلب العلاقات وجوداً في التربة هي المنفعة من جهة واحدة ، اما العلاقات المفيدة المتبادلة فتوجد بصورة قليلة نسبياً .

أ ـ علاقات المنفعة من جهة واحدة .

من اهم انواع العلاقات المفيدة هي استخدام بعض انواع الكائنات الحية لنواتج تحلل المواد الغذائية المستخدمة من انواع اخرى تستطيع استخدام تلك المواد مباشرة .

ينتشر مثل هذا النوع من العلاقات غالباً في الطبيعة ويعتبر الطريق الاساسي الذي تتحول به بعض السكريات المعقدة الى مواد غذائية تستفيد منها الكائنات الحية الدقيقة الاخرى غير المتخصصة في مهاجمة مثل هذه المواد الكاربوهيدراتية المعقدة .

مثال ذلك انتاج الفطر المحلل للسليلوز لبعض الاحماض العضوية التي تستخدم مصادر كاربون رئيسة لنمو البكتريا والفطريات غير المحللة للسليلوز . كما تظهر المنفعة من جهة واحدة بوضوح في الاراضي الحامضية حيث تعيش الكائنات الحساسة للحموضة في المناطق الملاصقة تماماً للكائنات الاخرى التي تعمل على تقليل الحموضة . كما ان هناك العديد من الامثلة لهذا النوع من العلاقات .

ب ـ علاقات التعاون الاولي .

ان صور علاقات التعاون الاولي تلاحظ دائماً في المزارع الميكروبية . بين حين وآخر نجد ان بعض المواد الطبيعية والمبيدات الحشرية Insecticides تتحلل بطريقة اسرع في وجود المزارع المختلطة منها في حالة المزارع النقية ومع ان السبب الحقيقي لهذه الظاهرة غير معروف تماماً الا انه غالباً ماتعزى هذه الظاهرة الى التخلص من بعض النواتج المثبطة لنشاط الميكروبات الاساسية التي تحلل هذه المواد او قد تعزى الى انتاج الميكروبات الاخرى المشاركة لبعض المواد المشجعة لنمو الميكروبات الاساسية . قد يطلق على هذا النوع من العلاقة بالمنفعة من جهة واحدة اذا ما افاد احد النوعين دون الاخر ومن ناحية اخرى تعد هذه العلاقة من علاقات التعاون الاولي اذا ماقامت الكائنات المشاركة بتشجيع نمو الكائنات المسؤولة عن التحلل وذلك بالتخلص من المواد السامة ولكنها في الوقت نفسه تحصل على الكاربون اللازم لها على هيئة نواتج وافرازات التحلل الذي تقوم به الكائنات الاساسية .

هناك مثال آخر لصور التعاون الاولي وهي العلاقة بين بكتريا ، ***Proteus vulgaris*** وبين البكتريا ، ***Bacillus polymyxa*** اذ لا يستطيع كلا الكائنين من النمو في منابت تفتقر لحامض النيكوتنيك **nicotinic acid** وفيتامين

البايوتين Biotin اذ يحتاج الاول الى حامض النيكوتنيك ويحتاج الثاني الى البايوتين ، ولكن نجد ان كلا الميكروبين ينموان عند وجودهما معاً في نفس المنابت الفقيرة لمثل هذه المواد ، حيث يستطيع كل منهما ايجاد ما يحتاجه الآخر . فالاول يكون فيتامين البايوتين الضروري لنمو النوع الثاني ، والثاني يكون حامض النيكوتنيك الضروري لنمو النوع الاول .

ان العديد من ميكروبات التربة تحتاج في نموها الى واحد او اكثر من الفيتامينات ، في حين يقوم العديد من الميكروبات الاخرى بافراز مثل هذه المواد ، ويعد الثيامين Thiamine من اكثر الفيتامينات المطلوبة اضافة الى البايوتين biotin وفيتامين B_{12} التي تعد ايضا مواد اساسية لنمو عدد كبير من البكتريا . كذلك نجد ان العديد من السلالات البكتيرية لاتستطيع النمو في غياب الأحماض الامينية . في حين تستطيع الكثير من الانواع الاخرى افراز نفس هذه المواد المشجعة للنمو .

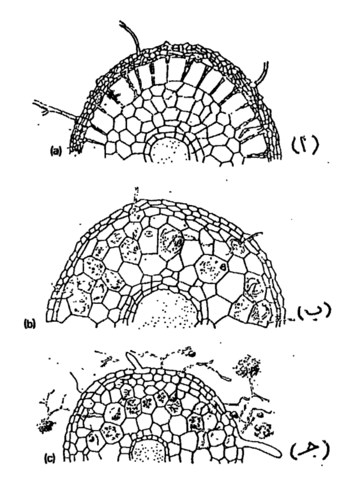
إن من الصعوبة بمكان تفسير وجود الميكروبات المتخصصة في احتياجاتها الغذائية من التربة . وغالباً ما تنتج هذه المواد بوساطة الميكروبات اذ ان ما تحتويه المخلفات النباتية من هذه المواد لايستفاد منها نتيجة عمليات تحللها في التربة . ونظراً لاهمية هذه المواد لنمو الميكروبات فان العلاقات التي تنشأ نتيجة لافرازات هذه المواد المشجعة على النمو واستهلاكها تعد من اهم العوامل الحيوية المحددة لتركيب مجتمع الميكروبات في التربة .

جـ ـ العلاقات التكافلية :

تعتمد بعض الاحياء على العلاقات التكافلية اعتماداً كلياً أو جزئياً لكي تقوم بفعاليات معينة وفيما يأتي اهم انواع هذه العلاقة بصورة موجزة : ـ

١ ـ العلاقة بين الفطريات وجذور بعض النباتات الراقية :

إذ تتعايش الفطريات بطريقة فريدة مع بعض النباتات الراقية وتكون التركيب المسمى بالمايكورايزا Mycorrhiza أو الفطر الجذري والذي ينشأ من العلاقة بين كل من أنسجة الجذور والفطر كما موضح في الشكل (٢٣) ويندر وجود هذه الانواع



شكل (٦٢) انواع الجذور الفطرية (المايكورايزا) حيث :

(أ) يمثل الجذور الفطرية الخارجية على اشجار الغابات .

(ب) يمثل الجذور الفطرية الداخلية في النباتات السحلبية .

(جـ) يمثل الجذور الفطرية الداخلية والمتفرعة مع ظهور الاجسام الثمرية في النباتات العشبية . (عن هارلي ١٩٦٥) .

من الفطريات في الوسط المحيط بالجذور الا على مقربة من الجذور . وقد يعزى ارتباط الفطريات بانسجة الجذور والتعايش معها الى احتياجاتها الغذائية والمعقدة ، اذ تتمكن من الحصول على الفيتامينات والاحماض الامينية وبصورة رئيسة مواد الطاقة والكاربون التي يصنعها النبات في عملية التركيب الضوئي وفي الوقت نفسه تتعمق هايفات الفطريات الى اعماق التربة لتزود النبات بالعناصر الغذائية وبالأخص الفوسفور والنيتروجين والزنك . لم يتمكن اي من الباحثين حتى الآن من

تنميتها على المنابت الصناعية .

تقسم المايكورايزا حسب نوع التغذية على نوعين ،

أ ـ النوع الخارجي التغذية : **Ectotrophs**

تكون هيفات الفطر سميكة الغطاء وتحيط بطبقة الجذر الخارجية وتتغلغل هيفات الفطر الى المسافات البينية للخلايا ويوجد مثل هذا النوع من العلاقة على جذور العديد من الاشجار الاقتصادية المهمة . ويشمل هذا النوع الفطريات التابعة للاجناس الآتية ؛ ـ

Amanita , Lactarius , Boletus , Elaphomyces.

ب ـ النوع الداخلي التغذية : **Endotrophs** وتسمى أيضاً

Vascular – arbuscular mycorrhyzae

في هذا النوع من المايكورايزا تتغلغل هيفات الفطر الى خلايه العائل اذ تكون تراكيب تسمى ؛ **haustoria** داخل خلايا النبات فيصل الفوسفور أو العناصر الغذائية الى هذه التراكيب ويقوم النبات بدوره في افراز انزيمات تحلل هذه التراكيب ليتحرر الفوسفور بشكل جاهز للنبات ، وتنتشر مثل هذه التراكيب في نباتات عائلتي **Orchidaceae** و **Ericaceae** وكذلك اشجار الفواكه والموالح والبن والعديد من النباتات البقلية . ويشمل هذا النوع الفطريات التابعة للاجناس الآتية ؛

Armillaria , Rhizoctonia , Phoma .

وهناك جنس مهم تابع الى نفس النوع هو ؛ ***Glomus*** الذي كان يسمى سابقاً **Endogene** .

٢ ـ العلاقة التكافلية بين الطحالب والفطريات في الاشنات ؛

تعد هذه العلاقة من الامثلة المعروفة والشائعة عن التعايش بين الكائنات الدقيقة تلك هي الاشنات **Lichens** التي تعيش فيها الفطريات مرتبطة بالطحالب . غالباً ما نشاهد الاشنات على اسطح الصخور وسيقان الاشجار المكشوفة . في مثل هذه العلاقة يحصل تحور لكلا الشريكين لاعطاء تراكيب معقدة

وغالبية الجسم فيها يتكون من الهايفات الفطرية التي تحيط وتخترق طبقة من الطحالب . كما يستطيع كل من المتعايشين ان ينمو بصورة مستقلة ثم يلتقي كليهما لتكوين الاشن اذا كانت الظروف البيئية غير ملائمة لنموها المستقل .

لاقامة مثل هذه العلاقة مختبرياً يجب ايجاد ظروف غير ملائمة كالتي تتوفر في المواقع البيئية غير الملائمة التي توجد فيها الاشنات كأن تكون هناك قلة في المواد الغذائية وشدة الرطوبة أو الجفاف بصورة خاصة . إن العلاقة التعايشية في الاشنات هي طريقة واحدة تجهز فيها الطحالب الفطريات بالمغذيات المتوفرة

والمحدودة ، وهذه القابلية تجعلها مؤشرات حساسة لتلوث الهواء لان معظم الانواع تقتل بسرعة عند ارتفاع تركيز الملوثات السامة ولهذا السبب لا يمكنها ان تنمو في المناطق الصناعية .

٣ ـ العلاقة التكافلية بين بكتريا الرايزوبيوم *Rhizobium* والنباتات البقلية **Legumes** :

تعد هذه العلاقة من اهم علاقات المنفعة المتبادلة إذ تستفيد النباتات البقلية من النيتروجين الجزيئي N_2 الممثل بوساطة بكتريا العقد الجذرية ***Rhizobium*** في حين ينتقل الكاربون العضوي الذي يكونه العائل النباتي من غاز ثاني اوكسيد الكاربون الى البكتريا . وهناك تداخلات عديدة تحدث بين البكتريا والنبات في مثل هذه العلاقة التكافلية من حيث المركبات التي تنتقل بين النبات والبكتريا والاسس التي تتحكم في تخصص الاصابة ، والطرق التي يتم بوساطتها تكون العقد البكتيرية على جذور النباتات وقد ذكرت جميعها في موضوع تثبيت النيتروجين بصورة تكافلية .

٤ ـ هناك نماذج من العلاقات التكافلية الاخرى اضافة الى ما ذكر سابقاً ،

حيث تدخل الابتدائيات **protozoa** مع النمل الابيض في معيشة تكافلية فتقوم الابتدائيات بتحليل السليلوز المستهلك بوساطة النمل الى صور يمكن الافادة منها ، حيث ان الابتدائيات تفيد كثيراً من هذه العلاقة ولا تكاد تكون موجودة تقريباً في اراضي خالية من النمل الابيض .

وهناك علاقة فريدة اخرى تنشأ بين احد فصائل النمل القارض وبعض انواع الفطريات حيث لم يعثر على اي من الكائنين في الطبيعة في غياب الاخر . فيقوم النمل بتحليل انسجة اوراق النباتات وازهارها ومخلفاتها ثم يعمل على نقل الفطريات الى داخل الانسجة المتحللة حيث تتكاثر هناك وتكون مصدراً غذائياً لمعظم الحشرات في التربة .

٢ ـ العلاقات الضارة :

إن العلاقات الضارة التي تنشأ بين ميكروبات التربة تتلخص بالاتي :ـ

أ ـ التنافس الميكروبي **Competition**
ب ـ التضاد **Antagonism**
جـ ـ التطفل والافتراس **Parasitism & preation**

بالنظر لتعدد مجاميع ميكروبات التربة وتنوع العلاقات البسيطة التي تعتمد على وجود نوعين من الكائنات الحية الدقيقة فان العلاقات الضارة التي تنشأ تتنوع تنوعاً مختلفاً . وبناء على ذلك فهناك صراع مستمر بين الكائنات حيث تستطيع الانواع الملائمة للوسط البيئي فقط على المقاومة والبقاء .

لقد وجد أن الميكرويات التي تلقح بها التربة تتكاثر بسرعة في حالة التربة المعقمة في حين نجد ان إعادة التلقيح نفسه بدون تعقيم التربة فان نمو الانواع الملقحة يكون ضعيفاً حيث تختفي الانواع التي ادخلت الى التربة في ايام او اسابيع قليلة . ان هذه الظاهرة تعزى الى الاختلاف في السلوك بين التربة المعقمة وغير المعقمة الى العلاقات المتبادلة ذات الطبيعة الضارة بين الميكروبات التي ذكرت آنفاً .

أ ـ التنافس المايكروبي **Microbial competition**

ان التنافس المايكروبي يكون بالاساس في الحصول على المواد الغذائية خصوصاً عندما تكون بكميات محدودة . او يمكن ان يكون التنافس على بعض الاحتياجات النوعية الاخرى . وبما ان مصادر الغذاء دائماً تكون غير كافية في التربة فان التنافس على الكاربون والمواد المعدنية والاوكسجين ينتشر بصورة واضحة . ان

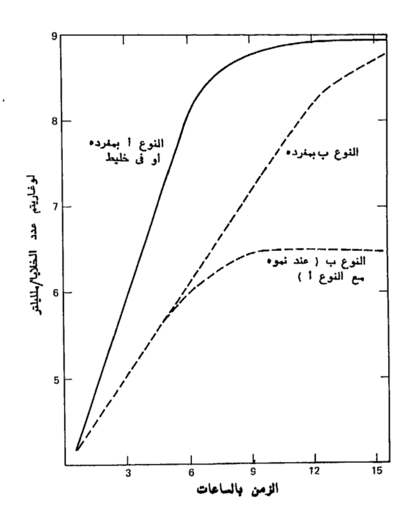
بعض الميكروبات تقوم باحداث ظروف ضارة لبعض انواع الميكروبات الاخرى كتغيير الوسط المحيط نتيجة تكون بعض نواتج التمثيل الغذائي التي تثبط او تقتل الميكروبات أو نتيجة لاستهلاك جميع الاوكسجين الموجود في الوسط مما يؤدي الى تثبيط نمو الكائنات الهوائية او نتيجة لتكون حامض النتريك HNO_3 أو حامض الكبريتيك H_2SO_4 نتيجة للتغذية الذاتية لبعض الميكروبات مثل بعض الانواع التابعة لجنس ، ***Thiobacillus*** مما يؤثر على نشاط بعض الميكروبات الحساسة للحموضة .

يمكن توضيح العلاقة التنافسية بين نوعين من الميكروبات مختبرياً في المزارع السائلة . حيث تحسب اعداد الميكروبيين عند نمو كل منهما بصورة منفصلة ثم حساب اعدادها عند نموها معاً في مزرعة مختلطة واحدة . فنجد ان النوع الاكثر

كفاءة هو الذي يتميز بقصر زمن الجيل **Generation Time** في ظروف التجربة الذي يتكاثر بمعدل واحد في المزارع النقية والمختلطة . على العكس من ذلك فان النوع الاقل كفاءة في التنافس ينمو في البداية في المزرعة المختلطة بدرجة مماثلة لما يحدث في المزرعة النقية ولكن سرعان ما يهبط معدل نموه بدرجة واضحة عند استهلاك النوع الاول لكل المواد الغذائية المحددة للنمو ، مما يترتب عليه انخفاض الاعداد النهائية لهذا النوع من الميكروبات في المزرعة المختلطة عنه في المزرعة النقية كما موضح في الشكل (٢٤) .

وعند التحكم في نوعية العنصر الغذائي المحدد يمكن ملاحظة التنافس المايكروبي بصورة واضحة من أجل الحصول على مصادر الطاقة والكاربون والمواد المعدنية والمواد الاخرى المشجعة للنمو . وبدرجة مماثلة لما يحدث في المزارع السائلة يمكننا التحكم في نوع العلاقات التنافسية الناشئة في التربة المعقمة والملقحة بنوعين مختلفين من الميكروبات عن طريق التغيير في درجات الحرارة او المستوى الرطوبي .

ان التنافس المايكروبي قد يظهر على مصادر النيتروجين عند وجود المواد العضوية السهلة التحلل بوفرة مثل الكاربوهيدرات او المخلفات النباتية الفقيرة في نسبة النيتروجين . ويظهر مثل هذا التنافس على الانواع بطيئة النمو عند اضافة المركبات الكاربوهيدراتية الى التربة ، في حين ينعكس التأثير عند اضافة المركبات النيتروجينية . ويفسر هذا النوع من العلاقات الدافع من وراء تقليل محتوى التربة



شكل (٢٤) التنافس المثالي بين نوعين من البكتريا في الاوساط الغذائية السائلة . (عن الكسندر ــ ١٩٧٧)

من مركبات النيتروجين الجاهزة وذلك عن طريق تنشيط عمليات تمثيل هذه المركبات النيتروجينية . ان قدرة الميكروبات على التنافس يتحكم فيها كفاءة تلك الميكروبات في استخدام المواد الكاربوهيدراتية في التربة ومعدل نموها وحسب نوعية الحاجة للغذاء .

كذلك يعد التنافس بين سلالات بكتريا العقد الجذرية ***Rhizobium*** الموجودة اصلاً في التربة والسلالات التي تضاف الى التربة عن طريق تلقيح البذور ذا اهمية تطبيقية واسعة ، حيث يقوم اكثرها قدرة على التنافس باصابة الشعيرات الجذرية

واختراقها وتكوين النسبة الكثيرة جداً العقد العقد الجذرية ، حيث تنعكس قدرة العقد الجذرية وكفاءتها المتكونة في تثبيت النيتروجين الجوي على مدى استفادة النبات البقلي من المعيشة التكافلية مع هذه الميكروبات .

ب ـ التضاد المايكروبي : Microbial Antagonism

ان التضاد الميكروبي بمعناه الشامل يعني ان ميكروباً ما يستطيع ان يقتل او يضر او يوقف نشاط ميكروب اخر ونموه بصورة مباشرة او غير مباشرة . وهذه الظاهرة موجودة بصورة واضحة بين ميكروبات التربة ولها اهميتها الاقتصادية في الزراعة . هناك امثلة عديدة لعمليات التضاد كالتطفل المباشر لبعض الميكروبات على ميكروبات اخرى كتطفل الفطر على البكتريا وتطفل الفطر على الديدان الخيطية وتطفل الفيروسات على البكتريا . ومن الامثلة الاخرى على عملية التضاد هو ان بعض الاحياء تتغذى على احياء اخرى فالا بتدائيات تأكل البكتريا والحشرات تتغذى على الفطريات . ومن اهم انواع التضاد هو التضاد الناتج عن افراز الميكروبات لمواد خاصة تعرف بالمضادات الحيوية **Antibiotics** ، حيث يلاحظ عند تلقيح الوسط الغذائي الصلب بمعلق مخفف من التربة في اطباق بتري بان بعض المجاميع الميكروبية تحاط بمنطقــة رائقة او هالة خالية من النموات الميكروبية وهذا ما يؤكد على انتاج بعض انواع الميكروبات التي تنمو بصورة متجاورة مع بعضها لمواد مثبطة للمجاميع الاخرى .

ان العديد من ميكروبات التربة تنتج مواد مثبطة للنمو في المزارع السائلة ، وليس من الصعوبة بمكان عزل سلالات ميكروبية لها القدرة على تثبيط نمو الكثير من الكائنات الحية الدقيقة مما يدل على سعة انتشار هذا النوع من الكائنات في التربة .

حيث تعد الاكتينومايسيتات من اهم ميكروبات التربة التي تنتج المضادات الحيوية المختلفة ، ومنها على سبيل المثال ، الستر بتومايسين **Streptomycin** والكلورو تتراسايكلين ، **Chlorotetra cycline** وسايكلوهكسميد **Cycloheximide** وغيرها . من اجناس الاكتينومايسيتات الفعالة في هذا المجال هي : ***Micromonspora*** و ***Streptomyces*** و Noc-ardia وان اهم انواع الالكتنومايسيتات المستخدمة على نطاق واسع في الصناعة وفي انتاج المضادات الحيوية عزلت اصلا من التربة .

ومن اهم انواع البكتريا المنتجة للمضادات الحيوية هي التابعة للاجناس ، ***Bacillus*** و ***Pseudomonas*** التي لها القدرة على انتاج البيوسيانين pyocyanin ومشتقاته . كما ان هناك انواعاً من الفطريات تابعة للاجناس ، ***Aspergillus*** و ***Fusarium*** و ***Penicillium*** و ***Trichoderma*** وغيرها لها القابلية على انتاج المضادات الحيوية .

بالرغم من انتاج جزء كبير من ميكروبات التربة للمضادات الحيوية في المزارع المختبرية فإن دور هذه الكائنات في موطنها الطبيعي بالتربة واهميته في تحديد تركيب مجتمع الميكروبات غير معروف . وعلى الرغم من ان معظم المضادات الحيوية المستخدمة في العلاج الطبي تنتج اصلاً بوساطة كائنات التربة الا ان اهمية هذه المواد المنتجة من بعض الانواع النشطة في الاوساط والبيئات الطبيعية يبقى موضع جدل بين العلماء .

توجد في التربة ايضاً بعض المواد السامة التي لا توضع ضمن المضادات الحيوية ، ولقد وجد ان مثل هذه المواد تنتشر في مجموعة كبيرة من الاراضي احياناً ما تكون تلك المواد معدنية ويظهر تاثيرها المثبط فقط عند وجودها باعداد عالية نسبياً ، وان ظاهرة الركود الفطري في التربة بالنسبة لبعض الانواع يرجع بسبب تلك المواد .

لقد امكن التعرف ايضاً على بعض المواد التي تنتجها الميكروبات في التربة والتي ثبت تأثيرها الضار على نشاط الميكروبات التي تعيش في نفس الوسط .

من نواتج التمثيل الغذائي لبعض الميكروبات والتي لها اهمية في التضاد الميكروبي وحظيت باهتمام خاص هي : Co_2 ، NH_3 ، NO_2^- والاثلين C_2H_4 ومركبات الكبريت . فلقد وجد أن نسبة CO_2 الضرورية لتثبيط انبات الكونيديات ونمو هيفات الفطريات وتجرثمها غالباً ماتكون أقل من ٢ ٪ وعادة أقل من ١ ٪ وتعد الامونيا المنتجة في اثناء تحلل المخلفات النباتية ذات المحتوى النيتروجيني العالي من احدى المواد المثبطة للميكروبات المؤكسدة للنتريت NO_2 وهو الجنس ، ***Nitrobacter*** وبعض انواع الفطريات . وتعد الامونيا ايضاً احدى المواد الطيارة المثبطة لنشاط الفطريات في الاراضي القلوية غالباً . كما وجد ان الاثلين C_2H_4 المتكون في التربة كاحد نواتج التمثيل الغذائي لمجموعة الميكروبات غير ذاتية التغذية **Heterotrophs** يؤثر تأثيراً ضاراً في بعض الفطريات . كذلك يؤثر

كبريتيد الهيدروجين H_2S وغيره من المواد الكبريتية الطيارة في نمو بعض الميكروبات ونشاطها في التربة .

جـ ـ الافتراس والتطفل Preaation & Parasitism

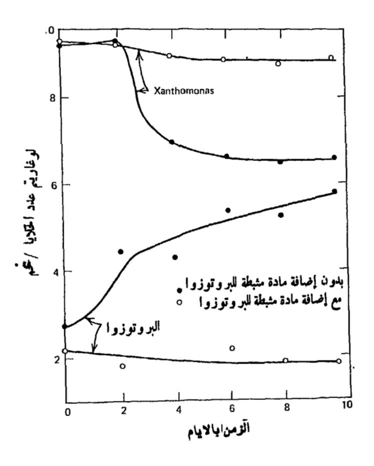
يعد الافتراس من اهم العلاقات بين الميكروبات في الطبيعة ، كما تعد البكتريا بصورة خاصة من اهم الكائنات في التربة تعرضاً لفعل المفترسات . كما ان الابتدائيات تعد اهم الامثلة اذ تتغذى على الملايين من البكتريا وتكون عاملاً محدداً بالنسبة لاعدادها وانتشارها .

حيث وجد من خلال التجارب ان زيادة اعداد البروتوزوا في موقع معين من التربة يكون له تأثير في اعداد البكتريا إذ ان اعدادها تقل بسبب إستهلاك الابتدائيات لها . وبصورة عامة فان العلاقة التي تنشأ بين كل من المفترس والفريسة تقع ضمن العوامل التي تتحكم في التوازن الحيوي وان أي تغيير سواء من

ناحية الكمية أو النوع لكل من المفترس والفريسة يتبعه تغير مماثل للآخر . وقد وجد أن وجود البكتريا بكثافة عددية كبيرة يعد ضرورياً لنمو الابتدائيات في التربة وان اعداداً كبيرة من البكتريا تلزم لاتمام انقسام كل خلية من خلايا الابتدائيات .

ان الشكل (٢٥) يوضح الانخفاض الكثير في اعداد البكتريا يقابله ارتفاع في اعداد الابتدائيات ، في حين يصبح الانخفاض في اعداد البكتريا معتدلاً في حالة تثبيط ابتدائيات التربة . ان الحيوانات وحيدة الخلية ومنها الابتدائيات قد تعد أحد العوامل الرئيسة التي تحول دون وجود البكتريا وانتشارها ولا سيما الانواع المضافة الى التربة ذات الاهمية الاقتصادية كالرايزوبيوم ***Rhizobium*** والآزوتوباكتر ***Azotobacter*** وقد تكون الحيوانات وحيدة الخلية ايضا كأحد المستهلكين الرئيسين للكتلة الحية من خلايا الميكروبات الصالحة للغذاء والمتأصلة في التربة .

كما ان بعض البكتريا المخاطية **Myoxobacteria** والفطريات الهلامية **Slime molds** تقوم بالتغذية المباشرة على انواع البكتريا المختلفة ، اذ تقوم البكتريا الهلامية بانتاج بعض الانزيمات الخارجية قبل هضم خلايا البكتريا الاخرى فتقوم هذه الانزيمات بتدمير خلايا البكتريا ، في حين نلاحظ ان الفطريات الهلامية قد تقوم



شكل (٢٥) التغير في اعداد *Xanthomonas campestris* بعد اضافتها لتربة غرينية مزيجية قبل اضافة احد المركبات المثبطة لنمو الابتدائيات (البروتوزوا) وبعده (عن الكسندر١٩٧٧) .

باستهلاك خلايا الفريسة بكاملها . ونظراً لسعة انتشار البكتريا الهلامية في مختلف الاراضي فانها تعد من اكثر المفترسات الصغيرة أهمية في الطبيعة . كما ان البكتريا الهلامية تستطيع مهاجمة الطحالب والفطريات والخمائر اضافة الى بعض الاجناس البكتيرية .

كذلك تتعرض المجاميع الرئيسة في التربة للاصابة ببعض الطفيليات التي تعيش خارج خلاياها كالبكتريوفاج **Bacteriophages** اذ تصيب هذه أجناساً مختلفة من البكتريا وتشل حركتها وفعاليتها . وهناك البكتريا الضمية ***Bdellovibrio*** التي تنتشر في معظم الاراضي ايضاً وتقوم خلاياها بمهاجمة بعض الاجناس البكتيرية كما موضح في الشكل (٢٦) . ان



شكل (٣٦) مهاجمة ثلاث خلايا بكتيرية ضمية Bdellovibrio وتطفلها على خلية بكتيرية من نوع Escherichia coli مع ظهور رابعة ضمية بصورة حرة . (عن كري ووليام ١٩٧٩) .

البكتريا الضمية لاتؤدي دوراً كبيراً بتأثيرها في تركيب المجتمع المايكروبي في التربة لانها سرعان ماتفقد حيويتها عند عدم وجود العائل ولاحتياجها الى كثافة عددية هائلة من الخلايا الحساسة لانقسام خلاياها وتكاثرها .

ان مجاميع كبيرة من الفطريات تتعرض ايضاً لتطفل بعض الفطريات الاخرى اذ تهاجم الهايفات والكونيديات والجراثيم المختلفة والاجسام الحجرية وغيرها وتؤدي بالتالي الى تحللها . من اهم الفطريات المتطفلة هي التابعة للاجناس التالية :

Rhizoctonia و penicillium و Trichoderma, و Gliocladium . وتعد هيفات الفطريات النامية في التربة اقل عرضة لفعل الطفيليات وذلك لسرعة نموها التي تفوق معدل تحللها .

تتعرض الابتدائيات كذلك لمهاجمة الكائنات الاخرى ، اذ تستطيع انواع عديدة من البكتريا وبعض الفطريات من التغلغل داخل خلايا الابتدائيات النشطة فتتكاثر البكتريا داخل خلايا العائل وتؤدي الى موتها وتحللها في التربة . وهناك انواع خاصة من الفطريات قد تدخل خلايا الابتدائيات ولا سيما الاميبا منها فتؤدي الى موت خلاياها ثم تستفيد من مكونات السايتوبلازم .

ان ظاهرة التحلل في التربة تعد من الظواهر المهمة والشائعة في الطبيعة ، ويكون تحلل الخلايا في التربة نتيجة لما يأتي : ـ

١ ـ قد يكون التحلل نتيجة هضم جدران خلايا الانواع الحساسة وهيفاتها بواسطة انزيمات خارجية تفرزها بعض الكائنات التي تقوم بالتحلل وتعرف هذه الظاهرة بالتحلل غير الذاتي **Heterolysis** وأن الميكروب المتحلل لا يستطيع المحافظة على تركيبه وحيوته .

٢ ـ قد يكون التحلل نتيجة التحطيم الذاتي بوساطة الانزيمات التي تنتجها الخلايا والهيفات المتحللة وتعرف هذه الظاهرة بالتحلل الذاتي **Autolysis** . وقد تعد المضادات الحيوية وغيرها من المواد المثبطة التي تفرزها بعض الانواع هي السبب في التحلل الذاتي لخلايا افراد اخرى .

هناك فطريات مختلفة تتعرض للتحلل غير الذاتي الذي ينشأ من فعل الانزيمات التي تفرزها الميكروبات الاخرى كالبكتريا والاكتنومايسيتات وتشمل الاجناس الآتية اكثر الانواع نشاطاً في تحلل الفطريات :

Streptomyces* , *Nocardia* . *Bacillus و ***Pseudomonas*** ، كما تتعرض بعض انواع الطحالب للتحلل غير الذاتي ولا سيما الطحالب الخضراء المزرقة **blue green algae** والطحالب الخضراء **green algae** بفعل الانزيمات التي تفرزها سلالات من البكتريا الهلامية ***Myxobacteria*** وغيرها من البكتريا . ان دراسة تحلل الفطريات حظيت باهتمام كبير موازنة بالبكتريا التي لم تدرس بعناية وذلك بسبب صغر حجم البكتريا ، وعلى الرغم من ذلك فان الدراسات التي اجريت على المزارع المختبرية اظهرت ان ، ***Myxococcus*** و ***polyangium*** وغيرها تفرز بعض الانزيمات الخارجية التي تهضم انواعاً مختلفة من البكتريا .

كما لوحظ ايضاً تحلل البكتريا مختبرياً بوساطة سلالات من الاجناس الاتية
Flavobacterium, *Streptomyces* , *Bacillus* , *Micromonospora*, و *Pseudomonas*.

ومن المعلوم ان التحلل غير الذاتي ينشأ نتيجة لنشاط كائنات غير ذاتية التغذية وافرازها بعض الانزيمات التي تعمل على تفكك مكونات جدران الخلايا الحساسة التي تعد ضرورية للمحافظة على نشاط الخلايا وحيويتها .

GLOSSARY المصطلحات العلمية

A

Acetylene Reduction Test	اختبار اختزال الاسيتيلين
Acid– Fast bacteria	بكتريا مقاومة للاحماض
Adsorption	ادمصاص (امتزاز)
Actinophages	عاثيات (فاجات) البكتريا الخيطية
Activation	تنشيط
Algae	طحالب
Allochthonous	الاحياء الدخيلة
Amino Sugars	السكريات الامينية
Ammonification	نشدرة
Amphitrichous	خلايا سوطية الطرفين
Antagonism	تضاد
Antibiotics	مضادات حيوية
Aromatic Compounds	مركبات عطرية
Arthropoda	المفصليات
Ascomycetes	الفطريات الكيسية
Ascospores	سبورات كيسية
Assimilatory nitrate reduction	اختزال النترات التمثيلي
Autochthonous	الاحياء المستوطنة (المقيمة)
Autolysis	تحلل ذاتي
Autotrophs	احياء ذاتية التغذية

B

Baciliariophyta	الطحالب البنية الذهبية
Bactericides	مبيدات البكتريا
Bacteriods	بكتريا العقد الجذرية (الرايزوبيوم) داخل العقد

Bacteriophages	عاثيات (فاجات) البكتريا
Basidiomycetes	الفطريات البازيدية
Basidiospores	جراثيم بازيدية
Biodegradation	تحلل حيوي
Biomass	الكتلة الحيوية
Blue green algae	الطحالب الخضراء المزرقة
Budding	تبرعم

C

Capsule	حافظة
Carbon Cycle	مادة الكاربون
Carboxylation	اضافة ثاني اوكسيد الكاربون
Carcinogenic	مسرطنة
Cation exchange capacity (CEC)	السعة التبادلية الكاتيونية
Cellulases	انزيمات تحلل السليلوز
Chemoautotrophs	ذاتية التغذية الكيميائية
Chemoheterotrophs	متباينة (متغايرة) التغذية الكيميائية
Chemotrophs	احياء كيميائية التغذية
Chitinase	انزيم تحلل الكايتين
Chlamydospores	جراثيم كلاميدية
Chlorophyta	الطحالب الخضراء
Cilia	اهداب
Ciliates	هدبيات
Climax community	مجتمع الذروة
Colloidal complexes	المعقدات الغروية
Combined nitrogen	نتروجين متحد
Cometabolism	التمثيل الغذائي المشترك
Commensalism	منفعة من جهة واحدة
Competition	تنافس

Composts	مخلفات عضوية
Condensation	تكثيف
Conidiophore	حامل الكونيديات
Conjugation	تعقيد
Constitutive enzymes	انزيمات داخل الخلية بصورة طبيعية
Cooxidation	الاكسدة المرافقة
Critical nitrogen level	المستوى الحرج للنيتروجين
Cyanophages	عاثيات (فاجات) الطحالب الخضراء المزرقة
Cyanophyta	الطحالب الخضراء المزرقة
Cyst	حوصلة

D

Deamination	ازالة (نزع) الامونيا
Decarboxylation	ازالة مجموعة الكاربوكسيل
Decomposition	انحلال
Degradation	تحلل (تجزئة)
Denitrification	انطلاق النيتروجين
Detoxication	ازالة السمية
Deuteromycetes	الفطريات الناقصة
Dioxygenase	انزيم يعمل بوجود الاوكسجين
Diploid	خلايا ثنائية المجموعة الكروموسومية
Direct Count	طريقة العد المباشر

E

Ecosystem	نظام بيئي
Ectosymbiosis	التعايش الخارجي
Ectotrophic Mycorrhiza	جذور فطرية خارجية التغذية

Electron acceptor	مستقبل الالكترون
Electron carrier	ناقل الالكترون
Electron donor	مانح الالكترون
Endoenzymes	انزيمات تفرز داخل الخلية
Endopeptidases	انزيمات تكسر البروتين من وسط الجزيئة
Endosymbiosis	التعايش الداخلي
Endotrophic mycorrhiza	جذور فطرية داخلية التغذية
Euascomycetes	الفطريات الكيسية الحقيقية
Eukaryotic organisms	كائنات حقيقية النواة
Eumycotina	الفطريات الحقيقية
Eutrophication	الاثراء الغذائي (ظاهرة غزارة النباتات في المياه)
Exchangeable ammonium	الامونيوم القابلة للتبادل
Exoenzymes	انزيمات تفرز خارج الخلية
Exopeptidases	انزيمات تكسر البروتين من اطراف الخلية

F

Facultative anaerobes	ميكروبات لاهوائية اختيارية
Facultative photoautotrophs	ميكروبات ذاتية التغذية الضوئية اختياراً
Fermentation	تخمر
Ferrodoxins	ناقلات الالكترونات
Fertilizers	اسمدة (مخصبات)
Filamentous	بكتريا خيطية الشكل
Flagella	اسواط
Flagellates	سوطيات
Flavodoxins	ناقلات الالكترونات
Free energy efficiency	كفاءة الطاقة الحرة
Free radicals	جذور حرة
Fungi	الفطريات
Fungicides	مبيدات الفطريات

G

Generation time	زمن الجيل (الاخلاف)
Gibberellins	هورمونات نباتية
Gleying	ظاهرة التبقع
Glucosidic bond	آصرة كلوكوزية
Gypsum	كبريتات الكالسيوم

H

Haemocytometer	شريحة عد خلايا الدم
Hepatitis	التهاب الكبد الفيروسي
Herbicides	مبيدات الحشائش
Heterocysts	الاكياس المتغايرة
Heteroglycans	الكلايكان المختلف
Heterolysis	التحلل غير الذاتي
Heterotrophic organisms	احياء متغايرة (متباينة) التغذية
Homoglycans	الكلايكان المتشابه
Horizon	افق (قطاع)
Humic matter	مادة الدبال
Humification	عملية تكوين الدبال
Humin	الدبال الذي لا يذوب في القاعدة
Humus	الدبال
Hyperplasia	ظاهرة الزيادة غير الاعتيادية في عدد الخلايا
Hypertrophy	ظاهرة الزيادة غير الاعتيادية في حجم الخلايا

I

Immobilization	تمثيل
Immutalist is symbiosis	التعايش المتبادل
Indigenous organisms	كائنات متأصلة (مقيمة)
Inducible enzymes	انزيمات مستحثة (تحفز وتفرز خارج الخلية)
Infection thread	خيط الاصابة
Insecticides	مبيدات الحشرات

L

Leaching	غسل
Leghaemoglobin	الهيموكلوبين البقلي
Legumes	البقليات
Lichens	الاشنات
Lignases	انزيمات متخصصة في تحلل اللكنين
Lime	كاربونات الكالسيوم
Lipids	دهون
Lipoproteins	البروتينات اللبيدية
Lithotrophic organisms	احياء ذاتية التغذية
Lophotrichous	خلايا سوطية الطرف
Lysis	تحلل الخلايا

M

Manometric method	طريقة لقياس درجة تحلل المادة العضوية
Mesophilic organisms	الاحياء التي تفضل الحرارة المعتدلة
Methemoglobinemia	مرض ازرقاق العيون
Microbial community	المجتمع المايكروبي
Mineralization	معدنة
Molds	الاعفان
Mononucleotides	النيوكليتيدات الاحادية
Monosaccharides	السكريات الاحادية
Monotrichous	خلايا وحيدة السوط
Most probable number (MPN)	طريقة العد الاكثر احتمالاً
Mycorrhiza	الجذور الفطرية
Myxobacteria	البكتريا الهلامية
Myxomycotina	الفطريات اللزجة

N

Nematocides	مبيدات الديدان الخيطية (النيماتودا)
Nematodes	الديدان الخيطية
Neutralism	علاقة الحياد

Nitrification	عملية النترجة (التأزت)
Nitrifying bacteria	بكتريا النترجة
Nitrogenase	الانزيم المسؤول في عملية تثبيت النيتروجين
Nitrogen cycle	دورة النيتروجين
Nitrogen Fixation	تثبيت النيتروجين
Nitrosification	تحول الامونيوم الى اوكسيد النتروز تحت الظروف اللاهوائية(الخطوة الاولى فيعملية النترجة)
Nodulation	عملية تكون العقد الجذرية .
Nodules	العقد الجذرية
Non – Symbiotic nitrogen fixation	التثبيت اللاتكافلي للنيتروجين
Nucleic Acids	الاحماض النووية

O

Oomycetes	الفطريات البيضية
Oospores	الجراثيم (السبورات) البيضية
Optimum temperature	درجة الحرارة المثلى
Organic acids	احماض عضوية
Organic matter	المادة العضوية
Oxidative deamination	نزع الامونيا بالاكسدة

P

Parasitic symbiosis	التعايش المتطفل
Parasitism	تطفل
Parent material	المادة الاصلية
Pathogenic	ممرض
Pectinesterase	انزيم يحلل المواد البكتينية
Peptidase	انزيم يحلل البتيدات
Peretrichous	خلايا محيطية الاسواط
Pesticides	مبيدات الآفات
Phagotrophes	بلعمية التغذية
Photoautotrophs	أحياء ذاتية التغذية الضوئية

Photoheterotrophs	أحياء متغايرة (متباينة) التغذية الضوئية
Plaques	المناطق الرائقة الخالية من النمو نتيجة تحلل بعض الخلايا بفعل العاثيات (الفاجات)
Plate Count	عدد الخلايا الحية بالاطباق
Pleomorphic bacteria	بكتريا متعددة الاشكال
Polygalacturonase	انزيم يحلل المواد البكتينية
Polysaccharides	سكريات متعددة
Preation	افتراس
Prokaryotic organisms	كائنات بدائية النواة
Proteases	الانزيمات التي تكسر الجزيئة الكبيرة من البروتين
proteolytic enzymes	الانزيمات المحللة للبروتين
Protista	التصنيف الثالث للكائنات ويشمل جميع البكتريا والطحالب والفطريات والابتدائيات وصنف من قبل العالم هيتكل Haeckrl سنة ١٨٦٦ وهو احد تلاميذ دارون .
Proto – cooperation	علاقة التعاون الاولي
Protonation	اضافة بروتون
Protopectin	بكتين اولي
Protopectinase	انزيم يحلل البكتين الاولي
Prtotozoa	الا بتدائيات
Pseudopodia	اقدام كاذبة
Psychrophilic organisms	الاحياء التي تفضل درجة الحرارة المنخفضة
Purine } Pyrimidines }	قواعد نيتروجينية في الاحماض النووية

R

Reductive deamination	نزع الامونيا بالاختزال
Rhizoplane	التي تغطي سطح الجذور
Rhizopods	الا بتدائيات كاذبة الاقدام
Rhizosphere	التربة المحيطة بالجذور

S

Saprophytic organisms — أحياء رمية التغذية

Slime molds — الاعفان اللزجة

Soil Aggregates — تجمعات التربة

Soil structure — تركيب التربة

Soil Texture — نسجة التربة

Sporangiospores — حافظة السبورات

Strict aerobes — ميكروبات هوائية اجبارية

Strict anaerobes — ميكروبات لاهوائية اجبارية

Sulfur coated Urea — اليوريا المغلفة بالكبريت

Swarme cells — الخلايا المحتشدة

Symbiosis — تكافل (تعايش)

Symbiotic nitrogen fixatio n — (التثبيت التكافلي للنيتروجين

T

Tetraploid — خلايا رباعية المجموعة الكروموسومية

Thermophilic organisms — الاحياء التي تفضل الحرارة العالية

Transamination — عملية نقل مجموعة الامين

Transduction — التأبير (الانتقال)

U

Urea — اليوريا

Urease — انزيم يحلل اليوريا

V

Vibrio — بكتريا ضمية

Viruses — فيروسات

Volatilization — تطاير

W

Water holding capacity — السعة التشبعية للتربة

Wet Sieving — الغربلة الرطبة

X

Xanthophyta — الطحالب الخضراء المصفرة

Xylans — اشباه سليلوز تتكون من سكر الزايلوز

	Y	
Yeasts		الخمائر
	Z	
Zoospores		جراثيم (سبورات) هدبية
Zygomycetes		الفطريات الطحلبية .

المراجع العلمية

REFERENCES

Alexander, M. 1972. Microbial Ecology, John Wiley and Sons. Inc. New York pp. 1– 511.

Alexander, M. 1977. Introduction to Soil Microbiology. John Wiley and Sons, Inc. New York pp. 1– 467.

Allison, L.E. 1965. Organic Carbon. In C.A. Black (ed). Methods of soil analysis part II. Agronomy J. 1372– 1376.

Amberger, A. 1986. Potentials of nitrification inhibitors in modern N– fertilizer management. Z. pflanzenernachr. Bodenk. 149:469–484.

Anderson, J.H. 1964. The metabolism of hydroxylamine to nitrite by *Nitrosomonas*. Biochem. J. 91. 8.

Anderson, J.B. 1981. Methods to evaluate pesticides damage to the biomass of the soil microflora. Soil Biol. Biochem. 13: 149 – 153.

Anderson, J.P and Domsch, K.H. 1980. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. Soil Sci. 130: (4) : 211.

Anderson, W.P. 1983. Weed Science : principles, 2nd. ed. west publishing com. St. Paul, New York, Los Angles, San Francisco. pp. 1– 655.

Blackmer, A.M. and Bremner, J.M. 1978. Inhibition effect of nitrate on reduction of N_2O to N_2 by soil micro– organisms. Soil Biol. Biochem. 10: 187– 191.

Bissett, J. and Parkinson, 1979. The distribution of fungi in some alpine Soil. Can. J. Bot. 57 (15): 1606.

Bremner, J.M. and Keeney, D.R. 1964. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate, and nitrite. Agronomy Dept., Iowa State University, Ames, IOWA, U.S.A.

Bremner, J.M., and Mulvaney, R.L. 1978. Urease activity in Soils. P. 149– 169. In R.G., Burns (ed.). Soil enzymes. Academic press, New York.

Buchanan, R.E. and Gibbons, N.E. (Eds.). 1974. Bergey's Manual of Determinative Bacteriology. Williams and Wilkins Company. Baltimore.

Burns, R.G. 1979. Interaction of microorganisms, their substrates and their products with soil surfaces in adhesion of micro- organisms to surfaces (ed : Ellwood, D.C. and Melling, J.). Academic press INC. pp. 109.

Burris, R.H. 1979. Overview of nitrogen fixation In Genetic Engineering for nitrogen fixation. Plenum press, New York.

Cassman, K.G. and Munns, D.N. 1980. Nitrogen mineralization as affected by soil moisture, temperature and depth. Soil Sci. Soc. Am. J. 44 (6) : 1233.

Charles, W., Finkl, J.R. and Roy, W.S. 1979. Phosphorus cycle. In the Encyclopedia of Soil Science part I.

Dart, P.J. and Mercer, F.V. 1964. The Legume rhizosphere. Arch. Mikrobiol. 47 : 344 – 378.

Dash, M.C., Mishra, P.C., Mohanty, R.K. and Bhatt, N. 1981. Effects of specific conductance and temperature on urease activity in some indian soils. Soil Biol. Biochem. 13: 73 – 74.

Denarie, J., Truchet, G. and Bergeron, B. 1976. Symbiotic nitrogen fixation in plants. Cambridge University Press. England.

Dobereiner, J. and Day, J.M. 1976. Proceeding Int. Symp. on nitrogen fixation. Washington State Univ. Press.

Fahraeus, G. and Ljunggren, H. 1959. The possible Significance of pectic enzymes in root hair infection by nodule bacteria. Physiol. plant. 12 : 145–154.

Fenchel, T. and Blackburn, T.H. 1979. Bacteria and mineral cycling. Ac press, New York.

Focht, D.D. and Verstraete, W. 1977. Biochemical ecology of nitrification and denitrification. Adv. Microbial Ecol. 1 : 135– 214.

Foster R.C. and Rovira, A.D. 1978. The ultra- structure of the rhizosphere of *Trifolium subteraneum,* L. In microbial Ecology (ed. Loutit, M.W. and Miles, J.R.) . Springr – Verlag. Berlin Heidelberg pp. 279.

Frankenberger, W.T. and Dick, W.A. 1983. Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 47 : 945– 951.

Ghiorse, W.C. and Alexander, M. 1978. Nitrifying populations and the destruction of nitrogen dioxide in Soil. Microbial Ecology. 4: 233–240.

Gray, T.R.G. and Williams, S.T. 1979. Soil micro- organisms, Lecturers in Botany, The University of Liver pool, London, England.

Habte, M. and Alexander, M. 1980. Nitrogen fixation by photosynthetic bacteria in LowlandVice culture.Appl.Environ. Microbiol. 39 (2) : 342.

Hardy, R.F. 1977. Atreatise on nitrogen fixation Sec. III Biology. John Willey and Sons. New York.

Hattori, T. 1973. Microbial Live in the Soil. Marcel Dekker, New York.

Hawker, L.E. and Linton, A.H. 1971. Micro- organisms : Function, form and environment. William Clowes and Sons, Ltd., London.

Hendrickson' L.L., Keeney, D.R., walsch, L.M. and Liegel, E.A. 1978 a. Evaluation of Nitrapyrin as a means of improving nitrogen efficiency in irrigated sands. Agron. J. 70: 699- 704.

Hendrickson, L.L., Walsch, L.M. and Keeney, D.R. 1978 b. Effectiveness of Nitrapyrin in Controlling nitrification of fall and spring - applied anhydrous ammonia. Agron. J. 70 : 704 - 708.

Henry: R.M. and Eugene' H.C. 1971. Biological Chemistry, Dept. of chemistry, Indiana Univ. U.S.A.

Herling, M. 1979. Rhizosphere. In the Encyclopedia of soil Science part I (ed. Rhodes, W.F. and Chavels, W.F.) Dowder Hutchingon and Ross Inc. U.S.A. pp. 425.

Higgins, I.J. and Burns, R.G. 1975. The Chemistry and Microbiology of pollution. Academic Press. London. pp. 1- 248.

Hollaender, A. 1979. Genetic engineering for nitrogen fixation. Plenum press New York.

Holland, A.A and Parker, C.A. 1966. Studies on microbial antagonism in the establishment of clover pasture. II. The effect of Saprophytic soil fungi upon trifolii Rhizobium and the growth of subterranean clover. pl. soil 25: 329- 340.

Huber, D.M., warren, H.M, Nelson, D.W., Tsai, C.Y., Ross, M.A. and Mengel' D. 1982. Evaluation of nitrification inhibitors for no- till corn. Soil Sci. 134: 388 - 394.

Jenkinson, D.S. and Powlson, D.S. 1976. The effect of biocidal treatments on metabolism in soil. V.A. method for measuring soil biomass. Soil Biol. and Biochem. 8 : 209 - 213.

Jensen, H.L. 1958. The classification of the rhizobia. In : Nutrition of the Legumes. Ed. by Hallsworth, E.G. 75- 86. Butterworth, London.

Johnen, B.G. and Drew , E.A. 1977. Biological effects of pesticides on soil

micro- organisms. Soil Sci. 123 (5). 319- 324.

Kowalenco, C.G. 1978. Organic nitrogen, Phosphorous and sulphur in soils. IN Soil organic matter (ed. Schnitzer M. and Khan, S.U.) Elsevier Scientific publishing Company, Amesterdam pp. 95.

Kowalenco, C.G, Ivarson, K.C. and Cameron, D.R. 1978. Effect of moisture content, temperature and nitrogen fertilization on carbon dioxide evolution from field soils. Soil Biol. Biochem. 10 : 417- 423.

Lillich, T. and Elkan, G.H. 1968. Role of polygalacturonase in invasion of root hairs of Leguminous plants by : *Rhizobium* sp. Bact. Proc., 3.

Lynch, J.M. and Poole, M.J. 1979. Microbial ecology : A conceptial approach. Blackwell Sci. Publ., London.

Mainwright, M. 1978. A review of the effects of pesticides on microbial activity in soils. J. Soil Sci. 29 : 287 – 298.

Malhi, S.S. and Nyborg, M. 1974. Rate of hydrolysis of urea as influenced by thiourea and pellet size – plant and Soil, 51 : 177- 186.

Mallik, M.B. and Tesfai, K. 1983. Compatability of *Rhizobium japonicum* with commercial fungicides in vitro Bull. Environmental contamination.Toxicology' 31 : 432 – 437.

Martin, J.P. and Focht, D.D. 1977. Biological Properties of soils. pp. 115- 169. In : Soils for management of Organic wastes and waste water, ASA publish. Madison, Wisconsin. USA.

Nutman, P.S. 1956. The influence of the Legume in root nodule symbiosis. A Comparative study of host determinants and functions. Biol. Rev. 31, 109- 151.

Nutman, P.S. 1965. The relation between nodule bacteria and the legume host in the rhizosphere and in the process of infection. In : Ecology of soil – borne plant pathogens. Ed. by Baker, K. F and Synder, W.C. 231 – 247. univ. of California press, Berkeley.

Olsen, R.K. and Reiners, W.A. 1983. The nitrification in subalpine balsam fir soils test for inhibitory factors. Soil Biol. Biochem. 15 : 413 – 418.

Orme – Johnson, W.H. 1979. Biochemistry of nitrogenase. In Genetic engineering for nitrogen fixation (ed. Hollaender, A.) Plenum press. New York.

Pelczar, M.J. and Reid, R.D. 1972. Microbiology. Mc Graw – Hill, Inc. New York, St. Louis, San Francisco. pp. 3- 948.

Postgate, J.R. 1974. New advances and future potential in biological nitrogen fixation. J. Appl. Bact. 37: 185.

Richards, B.N. 1974. Introduction to the Soil ecosystem. Longman, Harlow, Essex.

Rodgers, G.A. 1987. Biological nitrogen transformations in soil after repeated application of nitrification inhibitors. Zentralbl. Mikrobiol. 142 : 343- 348.

Roger, Y.S., Edward, A.A. and John, L.I. 1980. General Microbiology. The Macmillan Press. LTD.

Rovira, A.D. 1965. Plant root exudales and their in fluence upon Soil microorganisms. Ecology of Soil – Borne plant pathogens. eds. Baker, K.F. and Synder, W.C.

Sorensen, J. 1978. Capacity for denitrification and reduction of nitrate to ammonia in a coastal marine sediment. Appl. Environ. Microbiol. 35 (2) : 301 – 305.

Stanford, F. and Smith, S.J. 1972. Nitrogen mineralization potential of soils. Soil Sci. Soc. Am. proc. 36 : 465 – 472.

Stanford, F., Carter, J.M. and Smith, S.J. 1974. Estimates of potentially mineralisable soil nitrogen based on short - term incubations. Soil Sci. Soc. Am. proc. 38: 99– 102.

Stewart, W.P. 1975. Nitrogen fixation by free Living micro – organisms. Cambridge Univ. Press. Cambridge.

Tabatabai, M.A. and Al- Khafaji, A.A. 1980. Comparison of nitrogen and sulfur mineralization in soil. Soil Sci. Am. J. 44 (5) : 100.

Tisdale, S.L. and Nelson, W.L. 1975. Fertility and fertilizers. Macmillan publishing Co., Inc. New York.

Vela, G.R. 1974. Survival of Azotobacter in dry Soil. Appl. Microbiol. 28 : 77.

Vincent, J.M. 1954. The root – nodule bacteria of pasture Legumes. proc. Linn. Soc. N.S.W. 79, iv – xxxii.

Waksman, S.A. 1952. Soil Microbiology. John Wiley and Sons, Inc. New York, London pp. 1– 356.

Walker, M. 1975. Soil microbiology. A critical review. Butterwords and Co., London.

Wittwer, S.H. 1979. Agricultural productivity and biological nitrogen fixation. In Genetic engineering for nitrogen fixation (ed. Hollaender, A.) plenum press, New York.

Zantua, M.I., Dumenil, L.C. and Bremner, J.M. 1977. Relation ships between soil urease activity and other Soil. properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 41: 350 – 352.

المراجع العربية

المصلح ، رشيد محجوب ونظام كاظم عبدالامير الحيدري (١٩٨٤) ـ علم احياء التربة المجهرية ـ جامعة بغداد / كلية العلوم .

ولكنسون ، ج ، ف (١٩٨٤) ـ مدخل الى علم الاحياء الدقيقة . ترجمة د . خضر داؤد سليمان والسيد مزاحم قاسم الملاح والسيد وائل ياسين الدباغ ـ جامعة الموصل / كلية التربية .

خلف ، صبحي حسين (١٩٨٧) ـ علم الاحياء المجهرية المائي . جامعة الموصل / كلية العلوم .

رقم الايداع في المكتبة الوطنية ببغداد ٦٧٧ لسنة ١٩٨٩

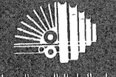

مطبعة التعليم العالي في الموصل

Soil Microbiology

By

Dr. Ghiath m.Kassim Dr.Mudhar A.ALi

1989



مطبعة التعليم العالي في الموصل